



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**DRUHY A CHARAKTERISTIKA METOD PŘESNÉHO
STŘÍHÁNÍ**

TYPES AND CHARACTERISTICS OF PRECISION CUTTING METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Hrtús

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Štroner, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Vojtěch Hrtús**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Marek Štroner, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Druhy a charakteristika metod přesného stříhání

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě poznatků provést rešerši a metodiku přesného stříhání. Provést rozbor jednotlivých metod a vypracovat závěry.

Cíle bakalářské práce:

1. Uvést problematiku přesného stříhání.
2. Provést rešerši s ohledem na vlastnosti přesného stříhání.
3. Shrnout poznatky a klady dané technologie.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan., GAJDOŠ, František., NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 5. vyd. Brno : CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

DVOŘÁK, Milan et al. Technologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.

FOREJT, Milan. Teorie tváření. 1. vyd. Brno: VUT-FSI, 1992, 167 s. ISBN 80-214-0415-9.

MACHÁČEK Zdeněk a Karel NOVOTNÝ. Speciální technologie I. -Plošné a objemové tváření. 1.vyd. Brno: VUT-FSI, 1986, 168 s. 55-552/1-86.

NOVOTNÝ Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. Praha: SNTL, 1980, 214 s. 04-234-80.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

HRTÚS Vojtěch: Druhy a charakteristika metod přesného stříhání

Bakalářská práce se zabývá metodami přesného stříhání a jejich rozbořem. Metody používané pro malosériovou výrobu byly rozebrány pouze stručně z důvodu jejich malého výskytu v praxi. V případě přesného stříhání s nátlacnou hranou je zpracovaná rozsáhlá rešerše ohledně jednotlivých parametrů ovlivňujících kvalitu střížného procesu. Dále se práce zabývá také nedostatky dané metody a možnými způsoby modernizace technologie buďto z hlediska kvality stříhu, nebo z hlediska ekonomičnosti.

Klíčová slova: Stříhání, přesné stříhání, nátlacná hrana

ABSTRACT

HRTÚS Vojtěch: Types and characteristics of precision cutting methods

Bachelor thesis deals with methods of precise cutting and their analysis. The methods used for production of small series were discussed only briefly due to their small occurrence in practice. In the case of fine blanking, an extensive search is made regarding the individual parameters influencing the quality of the shearing process. Furthermore, the work also deals with the shortcomings of the method and possible ways to modernize the technology, either in terms of quality of the shearing process or in terms of economy.

Keywords: Blanking, precision cutting, fine blanking

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRTÚS, Vojtěch. *Druhy a charakteristika metod přesného stříhání* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131968>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Marek Štroner.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 20.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Marku Štronerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	10
1.1 Střížný průběh	10
1.2 Síla a napjatost při stříhání	11
1.3 Střížná vůle	12
1.4 Nástřihový plán a technologické zásady	13
2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ	14
2.1 Vystřihování se zaoblenými střížnými hranami	14
2.2 Vystřihování se zkoseným přidržovačem	15
2.3 Kalibrování	15
2.4 Přistřihování	16
2.5 Reverzní stříhání	17
2.6 Přesné stříhání s nátláčnou hranou	18
2.6.1 Střížný průběh	18
2.6.2 Průběh střížné síly	19
2.6.3 Střížná vůle a nástroje	20
2.6.4 Nátláčná hrana a napjatost při přesném stříhání	21
2.6.5 Materiály	23
2.6.6 Technologické zásady	24
2.6.7 Stažení, otřep a kvalita	25
3 MODERNIZACE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ	27
3.1 Hydromechanické přesné stříhání	27
3.2 Wangovo přesné stříhání	28
3.3 Přesné stříhání s nespojitým bodovým vtlačením	29
ZÁVĚRY	30
Seznam použitých zdrojů	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	

ÚVOD [2], [6], [7], [8]

Tváření kovů je jeden z nejdůležitějších procesů v oboru strojírenství. Dosahuje se jím přetvoření objemu materiálu na určitý tvar bez porušení jeho soudržnosti. Technologie je výhodná tím, že díky ní lze vytvořit tvarově komplikované produkty při vysoké produktivitě. Při výrobě součástek, pro jejichž produkci se využívá rovinný polotvar, jímž je obvykle plech, se jedná o plošné tváření kovů, během kterého nastává změna tvaru původního materiálu, při zachování jeho tloušťky. Jedním ze způsobů, jak z pásového polotovaru získat hotový výrobek, je stříhání.

Stříhání se vyznačuje svojí jednoduchostí a schopností velmi rychlé produkce plošných součástek. Díky této realitě je technologie vhodná pro velkosériovou výrobu výstřižků, na které není kladen velký nárok na jejich kvalitu. S postupujícím časem a rozrůstajícím se uplatněním takto vyrobených součástek například v automobilovém nebo leteckém průmyslu se ovšem také zvyšují nároky na jejich kvalitu, kterých není schopna základní technologie stříhu dosáhnout. Proto byly navrženy metody přesného stříhání, kterými se tato práce bude zabývat, jejichž produkty jsou ukázány na obr. 1.



Obr. 1 Přesné stříhání [20], [21]

1 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [1], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

Technologie stříhání je jedním z nejvíce používaných procesů plošného tváření. Je charakterizována protichůdným pohybem dvou protilehlých břitů, na jehož konci dochází k oddělení požadovaného tvaru z plechu. Podle typu obrysu, po kterém probíhá oddělování, se dá technologie rozdělit na otevřené nebo uzavřené stříhání. Zatímco otevřené spočívá v odstříhování z plechu pomocí nůžek nebo kotoučů, díky čemuž je při procesu využito 100 % materiálu, při uzavřeném se z pásového polotovaru vystřihují určité tvary pomocí nástrojů speciálně připravených pro daný tvar výstřižku.

Kvalita takto vyrobených součástí do tloušťky 4 mm a s jmenovitými rozměry menšími než 150 až 200 mm se rozměrová přesnost obvykle pohybuje v rozmezí IT 12 až IT 14 a drsností povrchu $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$. Jejich kvalita se odvíjí od několika parametrů, jimiž jsou:

- Přesnost výroby střížníku a střížnice
- Konstrukce nástroje
- Mechanické vlastnosti materiálu
- Velikosti střížné mezery
- Tloušťky stříhaného materiálu
- Tvar výstřižku

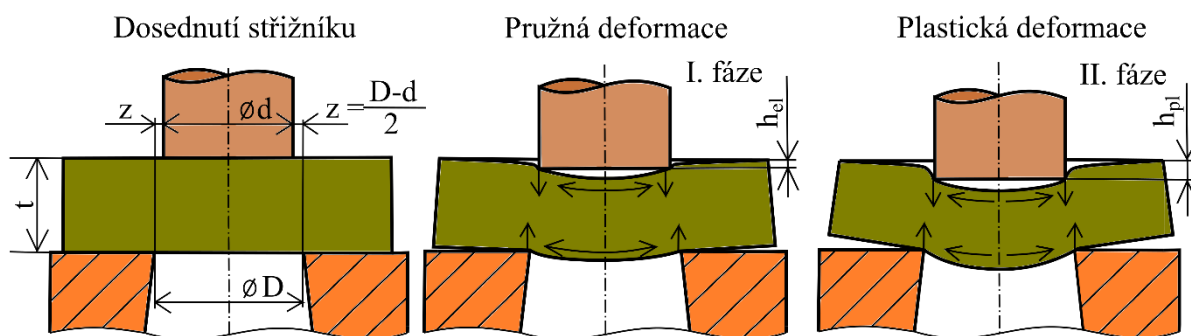
1.1 Střížný průběh [2], [3], [4], [5], [7]

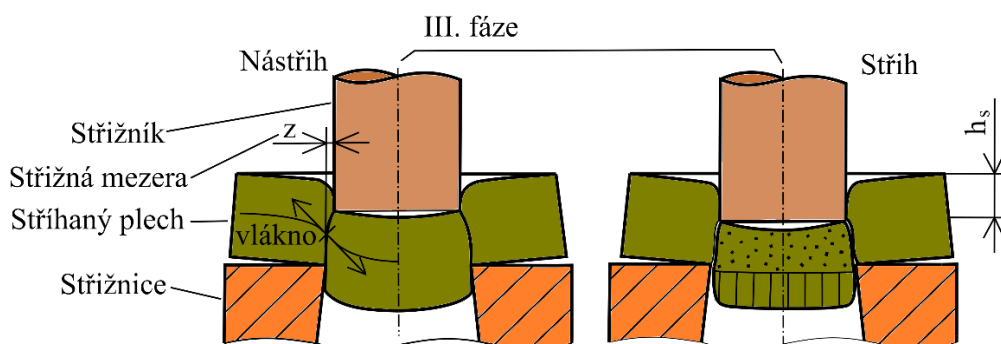
Do pracovního prostoru je přiveden pásový polotvar, který je posléze pohybem střížníku směrem dolů vystřihován. Průběh se dá popsat třemi fázemi vlastního stříhu na obr. 1 a začíná v momentě dosednutí nástroje na materiál.

V první fázi vyvolává střížník pružnou deformaci. V materiálu vzniká nežádoucí ohybový moment vzniklý působením dvojicí sil na protilehlých hranách střížníku a střížnice, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu střížné vůle. Plech je ohýbán a vtlačován do střížnice. Hloubka pružného vniku většinou představuje 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu.

Ve druhé fázi překročí napětí mez kluzu a vyvolá trvalou plastickou deformaci tzv pásmo vlastního stříhu. Je při ní vytvořena hladká část střížné plochy a obvykle tvoří 10 až 25 % tloušťky v závislosti na mechanických vlastnostech materiálu.

Ve třetí fázi překročí napětí mez pevnosti a materiál přestává být soudržný. U hran střížníku a střížnice začnou vznikat mikroskopické trhliny tzv nástřih, které se s postupující hloubkou vniknutí nástroje, začnou šířit ve směru největšího střížného napětí, díky čemuž dojde k utržení výstřižku. Rychlost a dráha šíření trhlin se odvíjí od mechanických vlastností materiálu a velikosti střížné vůle. Obecně platí, že tvrdé a křehké materiály se oddělí rychle s malým vniknutím, asi do 10 % tloušťky plechu, zatímco měkké a houževnaté materiály se oddělí poměrně pomalu s vniknutím asi do 60 % tloušťky plechu.

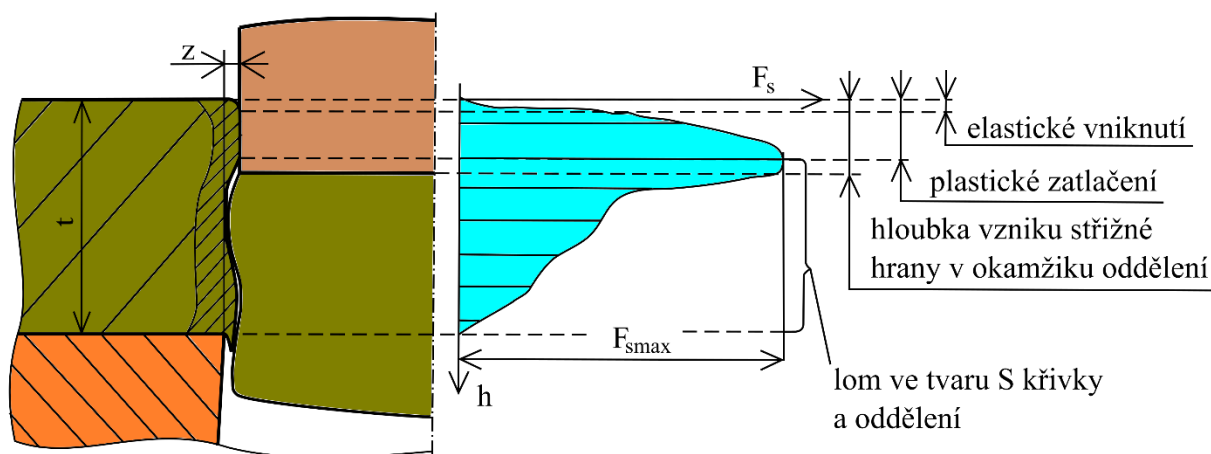




Obr. 2 Průběh stříhu [5]

1.2 Síla a napjatost při stříhání [4], [5], [6], [7]

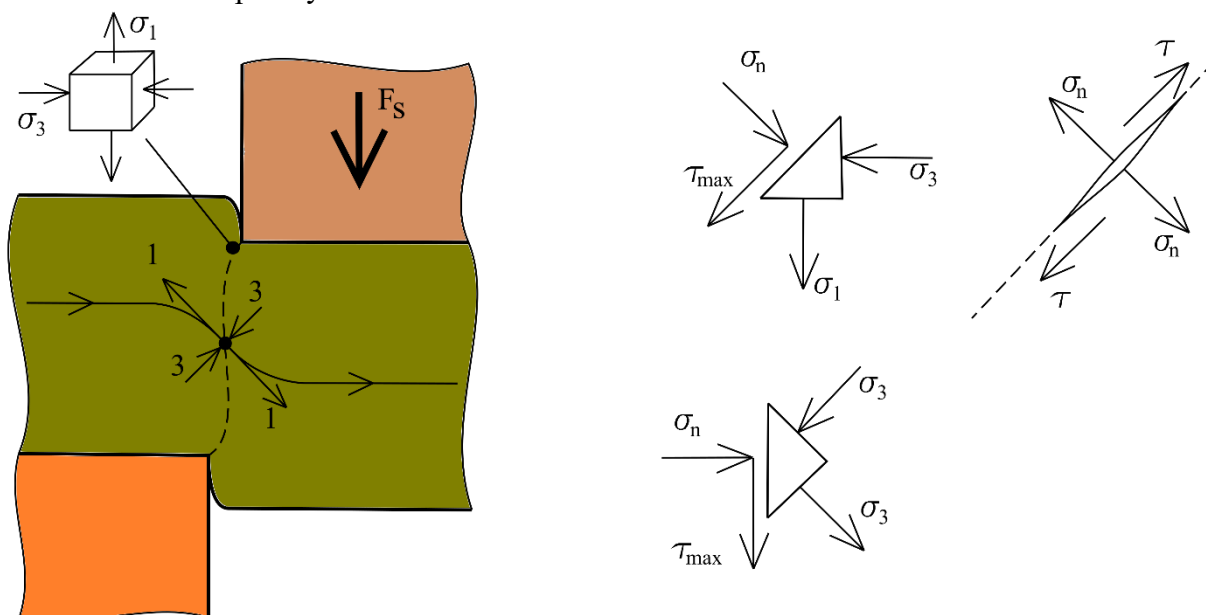
Průběh stříhu má také charakteristický průběh síly na obr. 3, odvíjející se od hloubky vniknutí střížníku. První dochází k elastickému vniknutí, při kterém se pěchuje materiál pod střížník a síla prudce narůstá. Následně dochází k deformaci plastické, kvůli které v okolí střížné plochy dochází k lokálnímu zpevnění a ke snížení tvárnosti, a proto se síla i nadále plynule zvětšuje, i když se střížná plocha zmenšuje. V nejvyšším bodě vzniká nástřih a síla začne mírně a plynule klesat až do hloubky, ve které dojde k oddělení, po čemž nastane její výrazný pokles. Zpomalení poklesu síly je zapříčiněno vzájemným otěrem vzniklých střížných ploch. Lom vzniká ve tvaru 'S' křivky. Největší zpevnění se nachází v těsné blízkosti od střížné plochy a s narůstající vzdáleností od ní se snižuje.



Obr. 3 Střížná síla [5]

Schéma napjatosti a deformace při běžném stříhání s uzavřeným obrysem ve dvou bodech na budoucí střížné ploše je zobrazené na obr. 4. Při stříhu figurují hlavní napětí σ_1 , které je tahové, a σ_3 , které je tlakové. Hlavní napětí σ_2 , které působí kolmo k rovině σ_1 σ_3 , se při stříhání větších šířek zanedbává a napjatost se řeší jen jako rovinná. Tlakové napětí se materiálem šíří od místa styku střížných nástrojů a vytváří oblast přetvoření. Při vzájemném pohybu nástrojů se tažná vlákna plechu postupně ohýbají a natahují a se zvětšující se vzdáleností od bříty nože, tj. se zmenšujícím se působením tlaku, se ohnutí a natáhnutí vláken zmenšuje. Tahová napětí působí tečně na vlákna a tlakové na ně působí kolmo. Hlavní osy napětí tudíž mění směr v závislosti na míře přetvoření. U zjednodušeného rovinného schématu se dá předpokládat, že maximální smykové napětí τ_{max} působí v rovině nakloněné pod úhlem 45° k hlavním osám napětí. Protože hlavní napětí nejsou stejná působí v rovině τ_{max} také normálové napětí σ_n . S postupující hloubkou vniku střížníku se v určitém momentě vyčerpá možnost materiálu se přetvářet a začnou vznikat trhliny u střížných hran ve směru maximálního

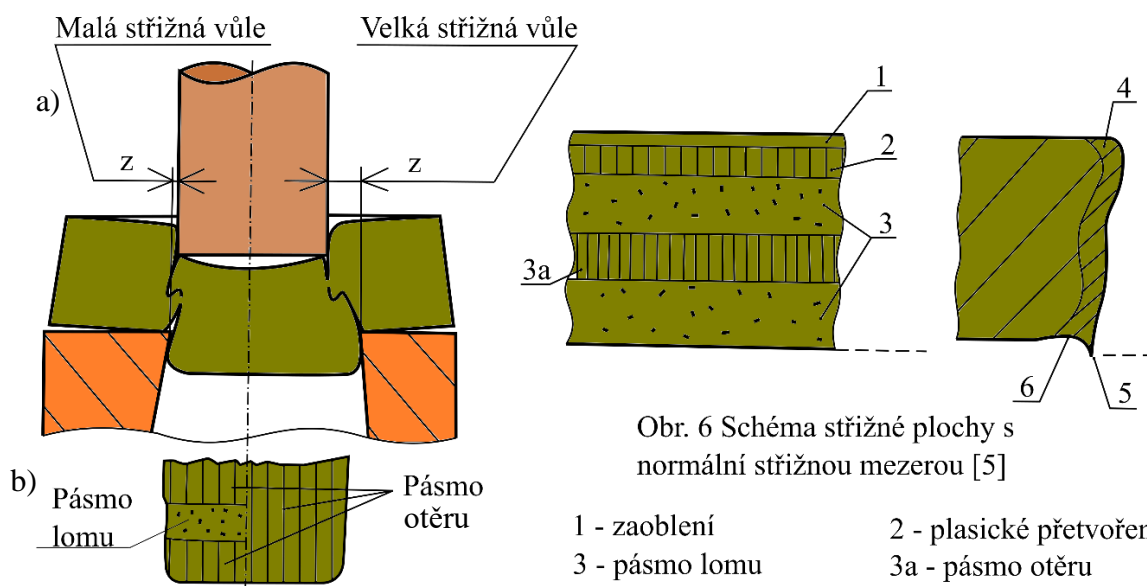
smykového napětí. Působící normálové napětí je tahové, napomáhá tudíž tvorbě vzniku trhlin. Změna směru maximálního smykového napětí v průřezu materiálu vysvětluje charakteristickou 'S' křivku střížné plochy.



Obr. 4 Schéma napjatosti při běžném stříhání [7]

1.3 Střížná vůle [2], [4], [5], [6], [7]

Jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících kvalitu střížné plochy je střížná vůle, která vyjadřuje horizontální vzdálenost mezi střížníkem a střížnicí, jak jde vidět na obr. 5 a), na kterém je ukázán rozdíl šíření trhlin pro příliš malou a příliš velkou vůli. Optimálně zvolená vůle způsobuje, že trhliny vznikající u hran nástrojů, se při jejich šíření setkají. Vzhled takové střížné plochy je znázorněn na obr. 6. Situace, kdy je vůle nastavená špatně, je znázorněna na obr. 5 b). V případě, že je příliš velká, se pásmo otěru rozšíří na celou střížnou plochu, zatímco v případě, že je příliš malá, tak mimo rozšířené pásmo otěru způsobí také to, že stříh musí proběhnout dvakrát, což má za následek výrazné zvýšení střížné práce.



Obr. 6 Schéma střížné plochy s normální střížnou mezerou [5]

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1 - zaoblení | 2 - plasické přetvoření |
| 3 - pásmo lomu | 3a - pásmo otěru |
| 4 - oblast zpevnění | 5 - otřep |
| 6 - vtisk dolního břitu | |

Obr. 5 Schéma stříhu s malou a velkou střížnou mezerou [5]

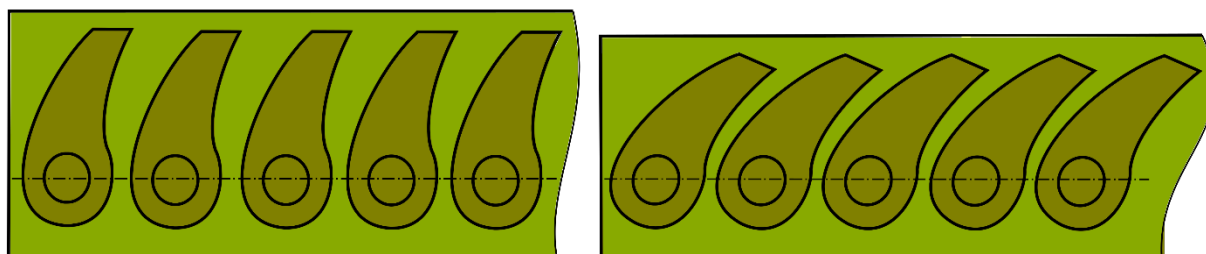
Střížná vůle se obvykle se vyjadřuje v procentuálním poměru tloušťky plechu. Její velikost se určuje v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu, druhu materiálu, ale taktéž se musí brát v potaz individuální opotřebení nástrojů, kdy v případě otupených nástrojů se mezera mezi nimi musí zvolit větší. Orientační hodnoty vůle pro vybrané materiály lze vidět v tab. 1.

Tab. 1 Velikost střížné vůle [6]

Druh materiálu	Střížná vůle [% t]	
	Do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
Ocel měkká	3 – 5	7 – 8
Ocel středně tvrdá	6	6 – 8
Ocel tvrdá	7 – 9	7 – 10
Hliník	4 – 7	5 – 9
Dural	7 – 8	7 – 10
Měď měkká	4 – 5	5 – 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 – 7	6 – 7
Mosaz měkká	4 – 5	4 – 6
Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 – 6	5 – 7
Papír, lepenka	2 – 3	3
Fíbr, textil	2 – 4	-

1.4 Nástřihový plán a technologické zásady [2], [4], [6], [7], [8]

Cílem nástřihového plánu je uspořádat výstřižky na plech tak, aby zůstalo co nejmenší množství nevyužitého materiálu. Součásti by měli mít minimální možnou plochu povrchu a takový tvar, aby mohly být seřazeny blízko vedle sebe, a zabírali tak co největší pracovní plochu. Rozdíl mezi vhodným a nevhodným uspořádáním výstřižků na plechu je ilustrován na obr. 7. Aby bylo dosaženo dobré kvality stříhu, je nutné mezi jednotlivými výstřižky a také mezi výstřižkem a okrajem plechu nechat dostatečně velkou přepážku neboli můstek. Šířka přepážky se odvíjí od tloušťky a mechanických vlastností plechu, tvaru součásti a také od způsobu podávání materiálu. Při malé vzdálenosti můstku může docházet k plastické deformaci na vedlejší součásti, ale také k tomu, že si kostra plechu neudrží dostatečnou tuhost, a začne se při průchodu nástrojem bortit. Ekonomičnost nástřihového plánu se vyjadřuje procentuálním poměrem využití plochy plechu pro výstřižky.



Obr. 7 Nevhodný a více vhodný nástřihový plán [4]

2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ [1], [2], [4], [6], [7], [8]

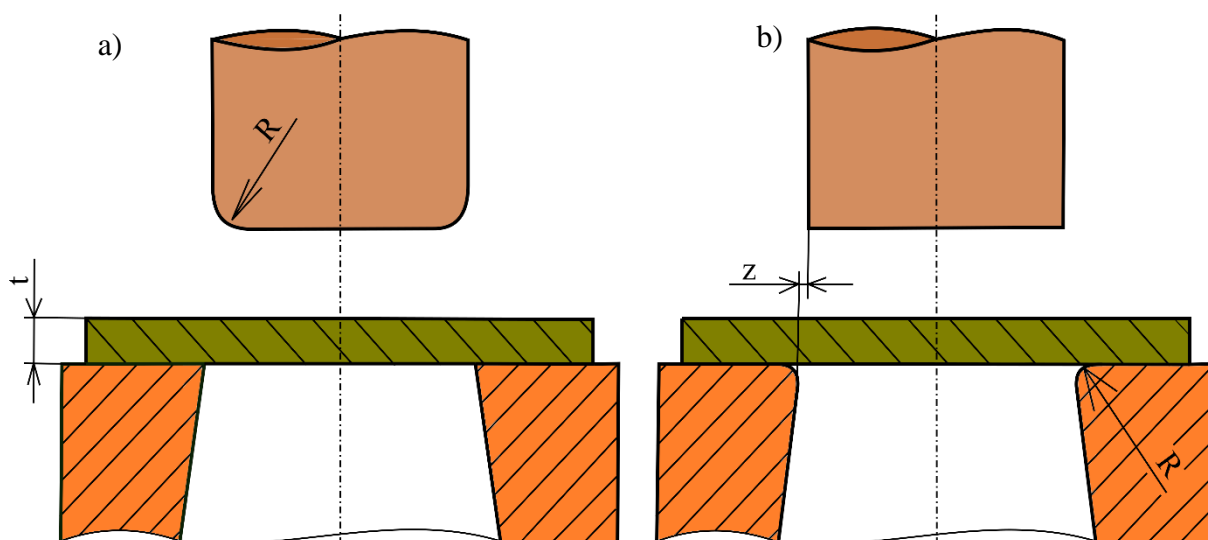
Z důvodu rozšiřujícího se využití technologie stříhání se také zvyšují požadavky na kvalitu výstřižků, tudíž klasické stříhání přestává být pro spoustu aplikací dostačující. Přesným stříháním se rozumí souhrn metod stříhání, jimiž lze minimalizovat nedostatky klasického stříhání, jež jsou především zaoblení hran podél obvodu stříhu, deformace výstřižku a nekvalitní střížná plocha. Cílem je rozšířit pásmo plastického stříhu na celou střížnou plochu. Toho lze dosáhnout buďto vyvozením trojosé tlakové napjatosti v materiálu, což ovlivní přetvoření materiálu v místě stříhu, nebo skrze dodatečné přistřižení malého množství materiálu po předchozí operaci.

Přesným stříháním lze dosáhnout rozměrově a geometricky přesných výstřižků s hladkou střížnou plochou. Rozměrová přesnost se obvykle pohybuje v rozmezí od IT 6 do IT 9, kde IT 6 platí pro plechy o tloušťce 0,5 až 1 mm a IT 9 pro tloušťku nad 6 mm. Geometrická přesnost, tj. kolmost střížné plochy na povrch stříhaného materiálu, bývá v rozmezí 0,01 až 0,02 mm a drsnost střížné plochy v rozmezí $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$.

2.1 Vystříhování se zaoblenými střížnými hranami [1], [6], [7], [8]

Zaoblením buďto střížnice při vystříhování, viz obr. 8. b), nebo střížníku při děrování, viz obr. 8 a), lze dosáhnout hladké a kolmé střížné plochy. Toto je způsobeno tím, že materiál je v průběhu stříhu zároveň dopředu protlačován, a tím, že v místě stříhu se vyvozuje dvuosý stav napjatosti, který zabraňuje vzniku trhlin. Velikost poloměru zaoblení pro optimální průběh stříhu bývá v rozmezí $R = 0,15$ až $0,20$ mm tloušťky plechu a se zmenšující se střížnou vůlí má na kvalitu zaoblení zvětšující se vliv. V situaci, kdy je potřeba stříhání tvarově komplikovanějších součástí obsahujících zářezy nebo ostré přechody, se zaoblení volí $R = 0,25$ mm a vůle $z = 0,01$ až $0,02$ mm. Pro dobrou kvalitu stříhu je také důležité používat materiály s vysokou tvárností a pevností do $R_m = 350$ MPa, např. měkké oceli, mosaz, hliník a jeho slitiny.

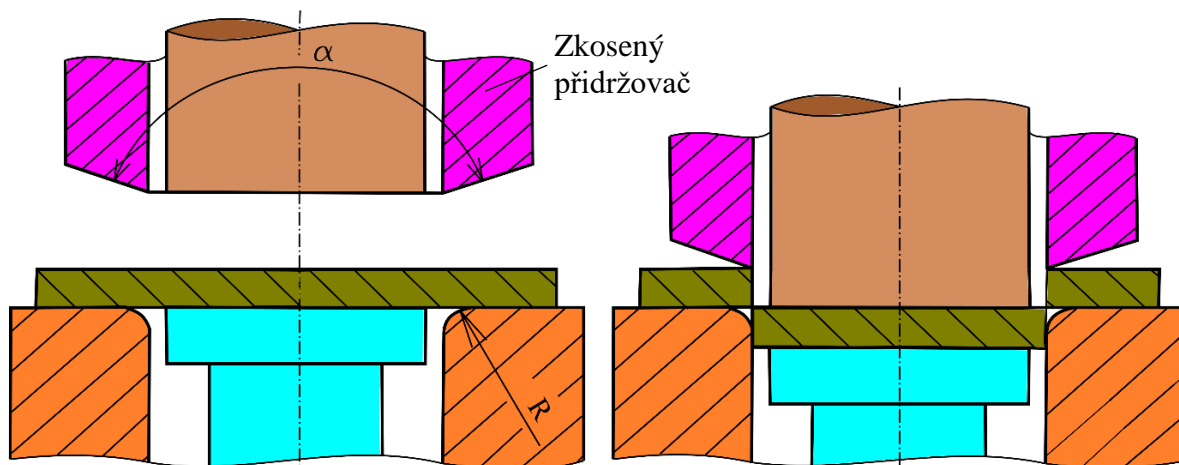
Touto metodou je možné zhotovit výstřižky s přesností v rozmezí IT 9 až IT 11 a drsností povrchu $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$, ale otřep bývá přibližně stejně vysoký jako při běžném stříhání a střížná síla bývá větší až o 15 %.



Obr. 8 Vystříhování se zaoblenými střížnými hranami [1]

2.2 Vystřihování se zkoseným přídržovačem [1], [6], [7]

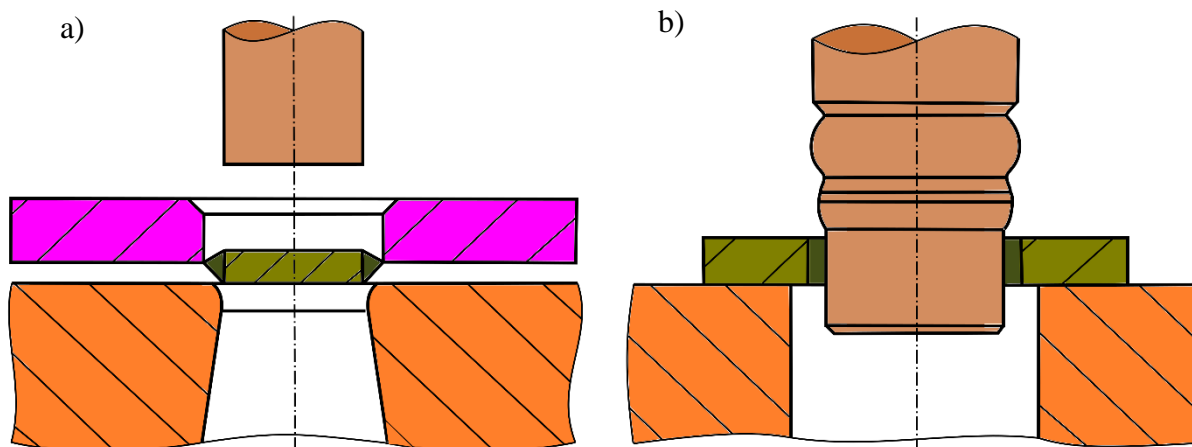
Funkcí zkoseného přídržovače je, svým vtlačení do materiálu před začátkem stříhu, v oblasti přetvoření vyvolat dvojosý stav napjatosti. Součástí konstrukce, která je viditelná na obr. 9 je také vyhazovač, který při stříhu působí silou proti střižníku. Úhel přídržovače bývá $\alpha = 178^\circ 30'$ a poloměr zaoblení na střižnici $R < 0,01$ mm. Tato metoda není obvykle velmi používaná a dosahuje se jí přesností IT 6 až IT 9 a drsnosti $R_a = 0,8$ až $1,6 \mu\text{m}$.



Obr. 9 Přesné stříhání se zkoseným přídržovačem [7]

2.3 Kalibrování [1], [2], [7]

Kalibrování lze provádět na vnějším, viz obr. 10 a), popřípadě na vnitřním obrysu, viz obr. 10 b), výstřižku. Princip v případě vnějšího spočívá v protlačení součásti s malým přídavkem skrze střižnici se zaoblenou hranou. Zaoblení střižnice se pohybuje v rozmezí $R = 0,5$ až $1,5$ mm a odvíjí se od tloušťky plechu. Přídavek pro výstřižek bývá v rozmezí $0,15$ až $0,40$ mm. V případě vnitřního obrysu se kalibrovací trn protlačuje skrze díru. Trn má zaváděcí a výstupní část, které jsou zkosené pod úhlem 5° , a jednu nebo více ploch sloužících ke kalibraci o šířce 1 až 3 mm. Při kalibrování otvorů je také důležité, aby byl otvor umístěn v dostatečné vzdálenosti od okrajů plechu, aby se dosáhlo nejlepší kvality kalibrace. Po dokončení procesu vzniká odpružení materiálu, obvykle $0,02$ až $0,06$ % jmenovitého rozměru, které je nutno brát v úvahu. V porovnání s přístřihováním je kalibrování z důvodu vlivu odpružení méně přesné a vyžaduje vyvinutí větší síly. Povrch kalibrované plochy je zpevněn a na okrajích vzniká nepatrné rozšíření. Dosahuje se jí přesností IT 6 až IT 9 a drsnosti $R_a = 0,8$ až $1,6 \mu\text{m}$.

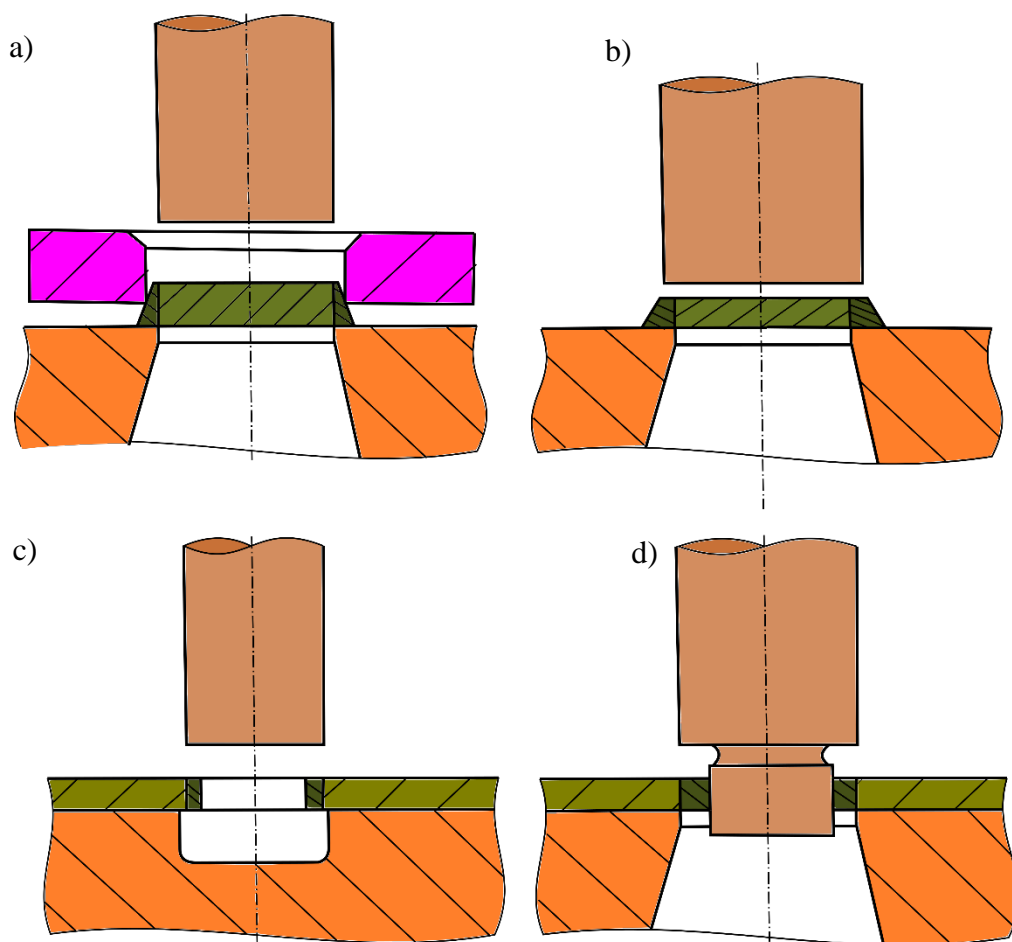


Obr. 10 Kalibrování [7]

2.4 Přistřihování [1], [2], [6], [7], [8]

Metoda přistřihování spočívá v dodatečném odstřižení malého přídavku materiálu z předchozí operace. Lze přistřihovat jak po uzavřeném, tak po otevřeném obrysu stříhu. Metodu lze provést několika různými způsoby viditelnými na obr. 11 a dá se rozdělit na:

- Přistřihování s kladnou vůlí (a) – deska se zakládací dutinou má funkci vystředění výstřižku nad střížnicí. Pro správný odvod třísky musí být mezi deskou a střížnicí dostatečná vzdálenost. Střížnice má rozměr výsledného výstřižku a na vrchní části má fazetku o výšce 6 až 8 mm, která se dále kuželovitě rozšiřuje.
- Přistřihování se zápornou vůlí (b) – střížník bývá o 0,1 až 0,5 mm větší než střížnice, a proto musí dokončit svůj pohyb do maximální vzdálenosti 0,2 až 0,4 mm před dosednutím na střížnici. Přistřižení proto není dokončeno úplně a výstřižek je finalizován přistřižením dalšího výstřižku, který protlačí původní do střížnice. Doporučené vůle v závislosti na tloušťce v plechu jsou znázorněny v tab. 2.
- Přistřihování vnitřních otvorů (c) – díry pro vnitřní přistřihování mohou být zhotoveny děrováním nebo vrtáním.
- Kombinace stříhání otvorů a přistřihováním (d) – děrování a vnitřní přistřihování mohou být úpravou konstrukce střížníku provedeny v jedné operaci.



Obr. 11 Přistřihování [1]

Proces přistřihování se obvykle provádí na jednu operaci a měl by být vykonán ve směru stříhu, jinak vzniká riziko, že se materiál začne vytrhávat. Výjimečně se přistřihují ve více operacích součásti o buďto větší tloušťce nebo o velmi přesných požadovaných rozměrech. Pro přistřihování jsou vhodné méně tvárné materiály jako polotvrdé nelegované oceli s pevností

$R_m = 350$ až 500 MPa a tvrdé nelegované oceli s pevností $R_m = 500$ až 700 MPa. Naopak méně vhodné jsou materiály vysoce tvárné jako měkké oceli. Procesem lze dosáhnout přesnosti IT 6 až IT 9, velké geometrické přesnosti, kdy úkos u plechu tlustého až 10 mm činní přibližně $0,02$ mm, a hladké střížné plochy o $R_a = 0,8$ až $1,6$ μm bez zpevněného povrchu a bez zbytkových vnitřních napětí z původních operací.

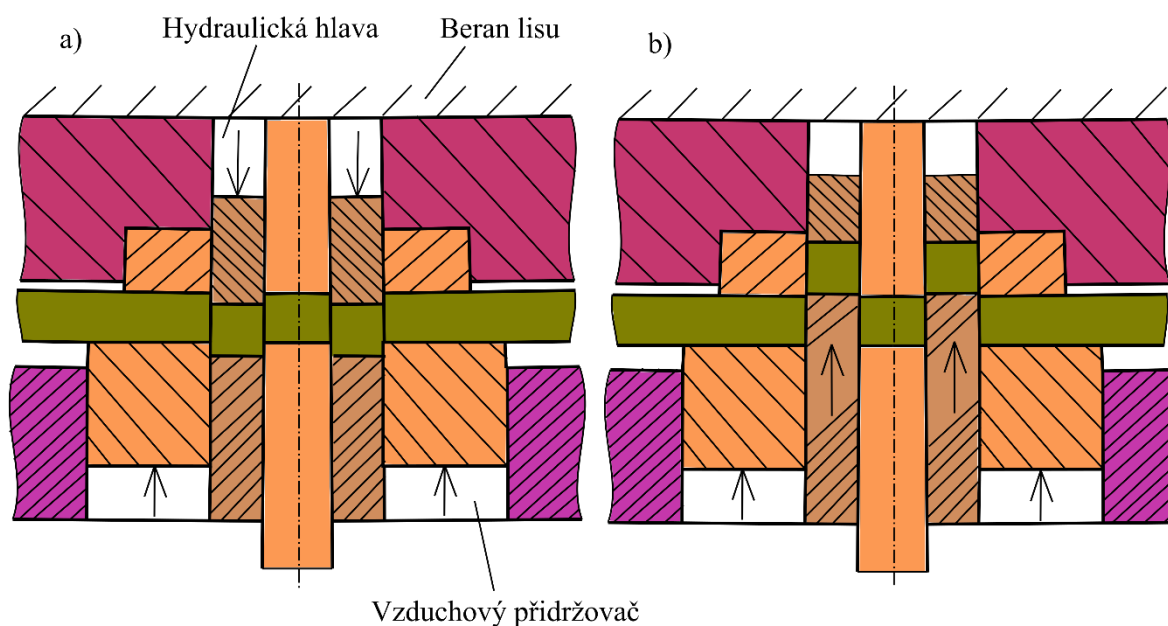
Tab. 2 Přídavky na přistřižování [8]

Tloušťka plechu [mm]		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Přídavek na přistřižování [mm]	Kladná vůle	0,040	0,050	0,065	0,080	0,090	0,110	0,130	0,150
	Záporná vůle	0,110	0,150	0,190	0,240	0,290	0,330	0,360	0,380

2.5 Reverzní stříhání [2], [6]

Největší výhodou metody reverzního stříhání je jeho schopnost produkovat komponenty bez otřepu na střížné ploše. Po sevření materiálu nastává vlastní průběh stříhu, který je rozdělený na dvě hlavní fáze, což je viditelné na obr. 12. V první fázi je materiál vystřižován v jednom směru do hloubky asi 25 % tloušťky plechu, ve kterém stále probíhá stříh pomocí plastické deformace. Ve druhé fázi se smysl pohybu obrací a dokončí operaci. Jelikož je součástka zhotovována pomocí přetvoření materiálu z obou stran, na obou koncích střížné plochy vzniká hladký povrch a stažení hrany, vznik otřepu je tudíž eliminován. Potenciální pracovní plocha po bocích výstřižku je ovšem zmenšena. Metodou lze vystřižovat součásti do tloušťky $3,5$ mm a v případě tlouštěk větších se na konstrukci přidává nátláčná hrana. Součástmi konstrukce jsou pneumatický přidržovač, který v první fázi plní roli střížníku, a hydraulická hlava, která vytváří nástřih a ve fázi druhé působí jako protisíla.

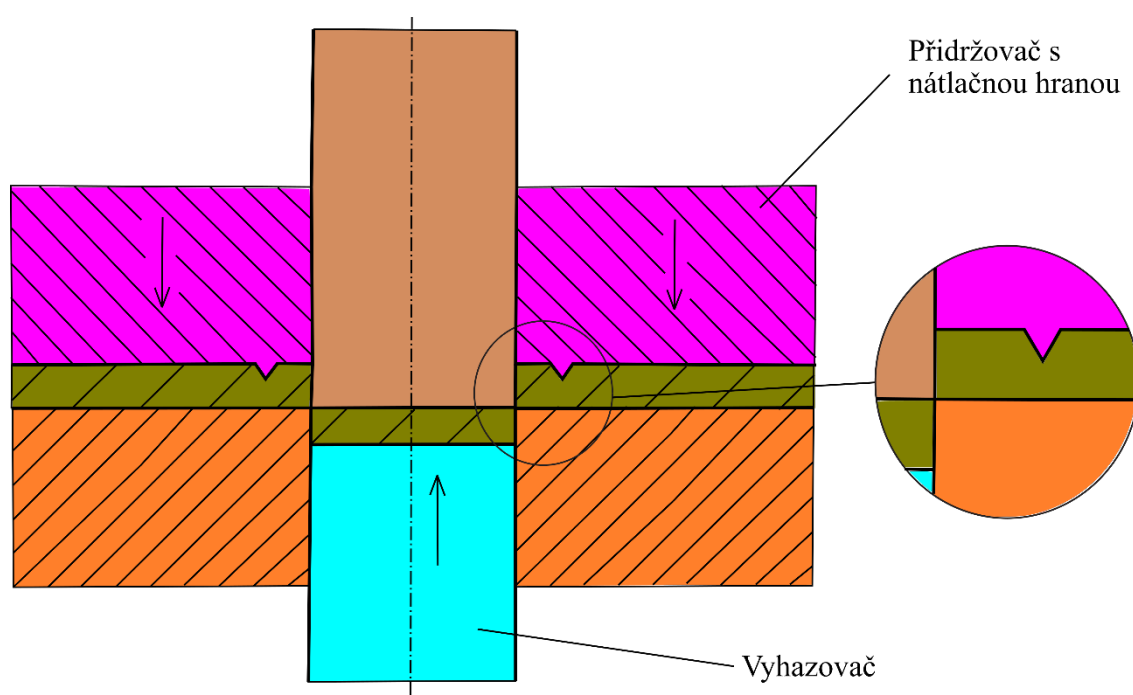
Reverzním stříháním lze dosáhnout rozměrových přesností IT 6 až IT 9 a díky své konstrukci i velmi přesných geometrických přesností a drsností $R_a = 0,4$ až $1,6$ μm .



Obr. 12 Reverzní stříhadlo [9]

2.6 Přesné stříhání s nátlacnou hranou [1], [2], [4], [6], [7], [8], [16]

Nejrozšířenější a nejprozkoumanější metodou je přesné stříhání s nátlacnou hranou. Pro svoji schopnost produkovat funkční komponenty s hladkou plochou stříhu bez lomů a trhlin po celém svém obvodu v jedné střížné operaci, se spolehlivou opakovatelností při poměrně vysokých rychlostech zdvihu, se technologie vyznačuje svojí vysokou produktivností a ekonomičností ve velkosériové výrobě. Vyrobené součásti mají široké využití a používají se pro výrobu komponentů do např. automobilů, letadel nebo obráběcích strojů. V porovnání s běžným stříhem nastává oddělení pouze skrze plastickou deformaci, čehož je dosaženo především díky velmi malé střížné vůli, vysokému napětí na přidržovači s nátlacnou hranou a vysokému napětí na vyhazovači. Zmíněné parametry napomáhají k vytvoření příznivé trojosé napjatosti v oblasti stříhu. Konstrukce mechanismu je znázorněna na obr. 13.

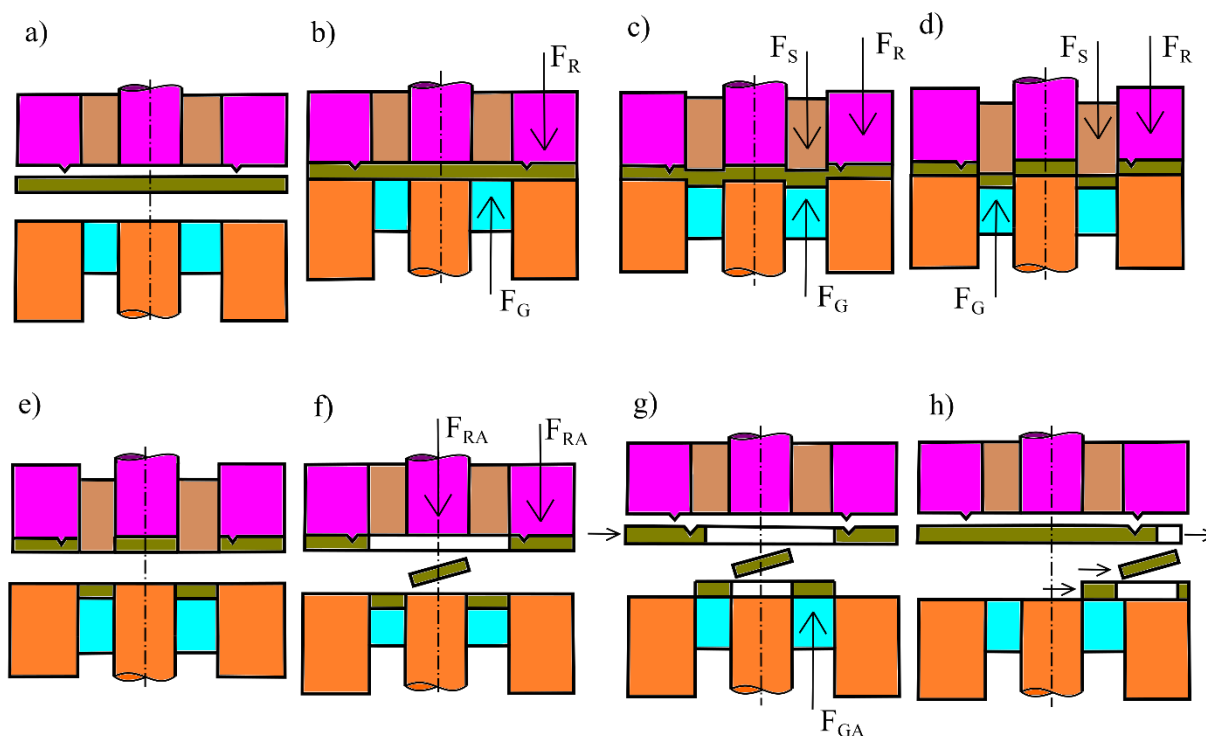


Obr. 13 Přesné stříhání s nátlacnou hranou [11]

2.6.1 Střížný průběh [4], [6], [7], [16]

Jelikož je konstrukce střížného nástroje komplexnější, střížný průběh má výrazně více kroků, což je viditelné na obr. 14 na příkladu vystřihování na trojčinném lisu. Jednotlivé kroky zároveň probíhají různou rychlostí. V prvním kroku je plech podán do pracovního prostoru (a). Beran lisu se začne rychle svírat, ale ještě před sevřením se pohyb z bezpečnostních důvodů zpomalí, což umožní, aby se automaticky zkontrolovalo, jestli se v pracovní ploše nenachází výstřižky po předchozí operaci a nedošlo tak ke kolizi. Plech se sevře střížníkem, vyhazovačem, přidržovačem a střížnicí a je do něj zalisována nátlčná hrana (b). Jakmile začne působit síla F_s na střížník (c), nástroj započne svůj střížný proces, ve kterém je součást vystřižnuta a vtlačena do střížnice. Rychlost stříhu je omezena hranicí $15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, při vyšších rychlostech může totiž nastávat ráz. Jelikož se vykonaná práce ve střížné oblasti plynule mění v teplo, jsou vhodné nízké rychlosti stříhu, protože teplo, tvořící se v oblasti přetvoření, má čas se rozptýlit do okolního materiálu, čímž se sníží tepelné napětí na střížné ploše a zamezí se tak výraznému opotřebení střížníku a střížnice. Během této části operace zároveň působí síla F_G od vyhazovače, která klade střížníku odpor. Síly působí zároveň až do konce stříhu (d), kdy jsou působící síly deaktivovány a nástroj se znovu rychle otevře (e). Jakmile je nástroj

otevřený, začne působit síla F_{RA} , která představuje asi 10 až 15 % střížné síly, a sejme plech z přidržovače a vnitřní výstřížek ze střížníku (f). Síla od vyhazovače F_{GA} vytlačí hotový výstřížek ze střížnice do pracovní plochy (g). Materiál je opět posunut dopředu a výstřížky jsou odstraněny buď mechanicky nebo pomocí stlačeného vzduchu (h).



Obr. 14 Střížný průběh [16]

2.6.2 Průběh střížné síly [4], [5], [6], [7], [9], [16]

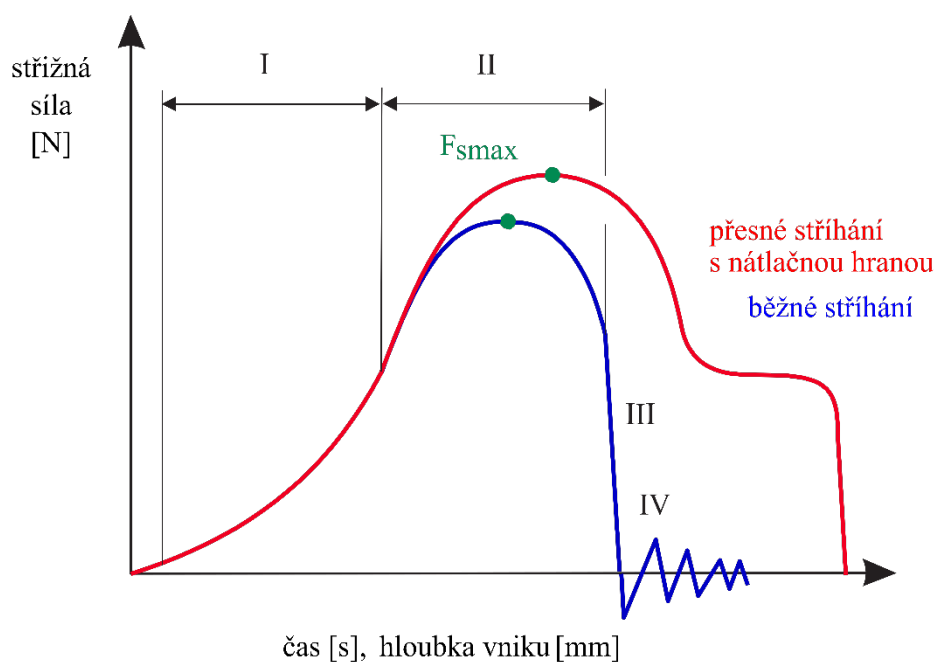
Průběh síly se od běžného stříhání výrazně liší a lze je porovnat na obr. 15. Střížná síla se skládá ze tří různých sil, které jsou:

- Vlastní síla stříhu – je závislá na celkové velikosti součástky, tloušťce plechu, a pevnosti materiálu. Vyvozuje ji střížník.
- Síla od přidržovače – zajišťuje vtlačení nátláčné hrany do materiálu.
- Protisíla od vyhazovače – je menší než síla od střížníku, protože ten ji musí překonat. Materiál je nepřetržitě tlačěn proti síle na vyhazovači, čímž minimalizuje ohýbání výstřížku a zachovává mu tak dostatečnou rovinnost. Dále zabraňuje předčasnému utržení.

I když je vlastní síla stříhu při přesném stříhání menší, výsledná síla je větší, protože zároveň působí i síla od přidržovače a protisíla od vyhazovače. Zvětšování těchto podpůrných sil vede ke zmenšení stažení hrany a ke snížení tvorby trhlin. Průběh síly normálního stříhání je rozdělený do čtyř pásem:

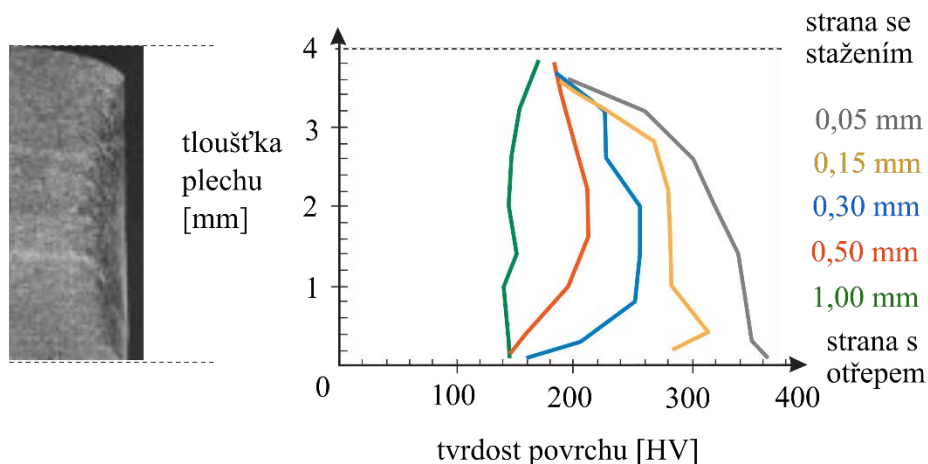
- I – elastické pásmo
- II – plastické pásmo
- III – lom
- IV – vibrace

V posledním pásmu se vibrace šíří do všech směrů a způsobují největší opotřebení nástrojů. Při stříhání s nátláčnou hranou jsou pásma lomu a vibrací díky své konstrukci a parametrech eliminovány.



Obr. 15 Průběh síly [4]

I při přesném stříhání se povrch na střížné ploše z důvodu probíhajících plastických deformací zpevňuje, ale na rozdíl od běžného stříhání proces probíhá za výrazně vyšších tlaků a plastická deformace v materiálu probíhá na mnohem menší ploše. Zpevnění povrchu se navíc zvětšuje se zvětšující se tloušťkou plechu, tím pádem se může stát, že při určité tloušťce se na konci střížné plochy začne objevovat lom, což negativně ovlivňuje kvalitu produktu. Míra přetvoření a zpevnění je viditelná na obr. 16. Přetvoření se od zaoblení po otřep zvětšuje a s ním i zpevnění, které se směrem do součásti zmenšuje.



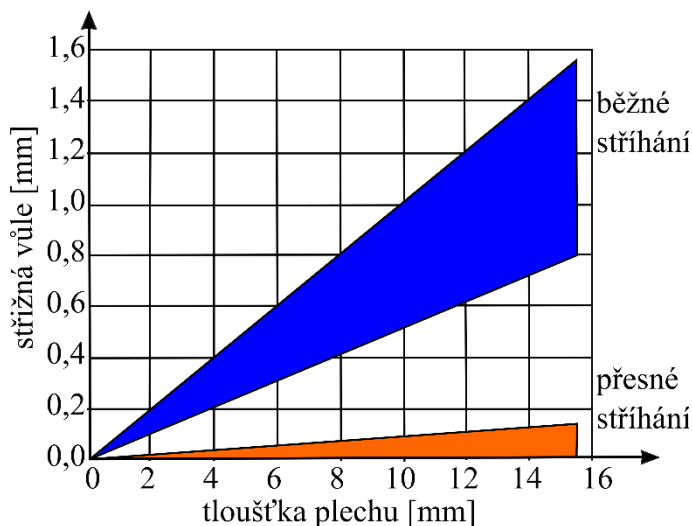
Obr. 16 Zpevnění střížné plochy [4]

2.6.3 Střížná vůle a nástroje [4], [6], [7], [17], [20]

Podobně jako u běžného stříhání se střížná mezera určuje podle tloušťky plechu, viz obr. 17, a mechanických vlastnostech materiálu, ale její velikost je výrazně menší. Obecně se pohybuje okolo 0,5 % tloušťky materiálu. Je-li vůle příliš malá, dochází na straně střížníku k vyboulení materiálu, zatímco, je-li vůle příliš velká, dochází na střížné ploše k trhlinám. S narůstající mezerou se také zvětšuje stažení na střížné hraně. Mimo velikost je také důležité zachovat rovnoměrnou hodnotu vůle. Vzdálenost mezi střížníkem a střížnicí by po celém obrysu výstřížku měla být co nejvíce konstantní. Tato skutečnost udává požadavek na

přesnou výrobu střížných nástrojů, zejména střížníku, který se brousí s velmi vysokou přesností. Hrana střížnice bývá zaoblená.

Střížníky mohou být kruhové nebo tvarové. U střížníků s kruhovým obrysem střížné hrany je rozložení napětí rovnoměrné, a proto je jejich použití za vysokých tlakových napětí do 1600 až 1800 MPa přípustné. Tvarové střížníky mohou mít libovolný obrys střížné hrany, což, v závislosti na jejich specifickém tvaru, způsobuje nerovnoměrné rozložení napětí a tím pádem taky negativně ovlivňuje mez únavy. Proto je dovolené tlakové napětí nižší v rozmezí od 1200 až 1600 MPa. Z důvodu, že by u střížníků velmi malých rozměrů mohl při velkých tlacích vznikat vzpěr, je nutné kontrolovat, že střížník je dostatečně velký pro určitou velikost napětí.

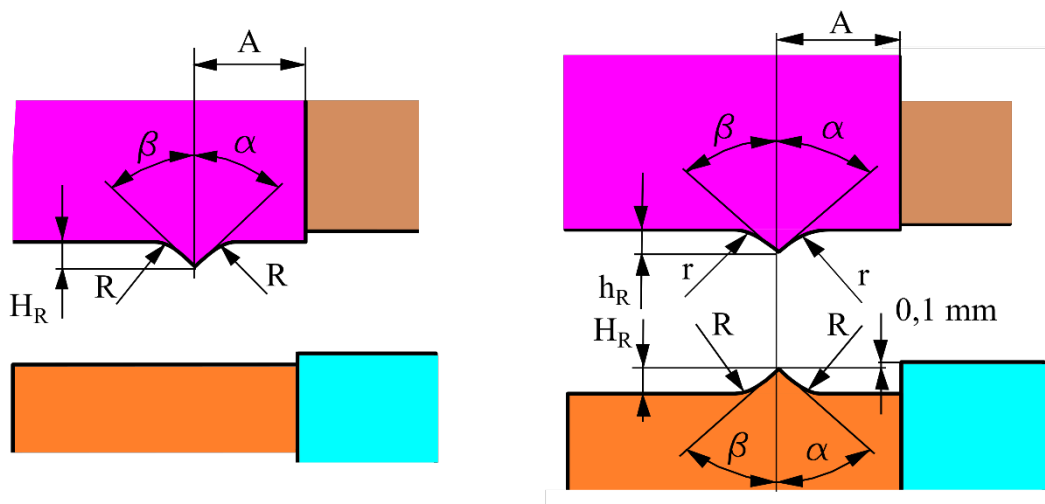


Obr. 17 Střížná vůle [4]

2.6.4 Nátlačná hrana a napjatost při přesném stříhání [4], [5], [6], [7], [23]

Nátlačná hrana vede v určité vzdálenosti od střížníku po celém vnějším obrysu výstřižku ve formě nepřetržitého zubu, který je vtačován do plechu. Funkcí hrany je držet materiál vně obrysu stříhu a zamezit tak vodorovnému přetvoření materiálu.

Hrana nemůže být umístěna příliš daleko od křivky stříhu, protože její účinek se se vzdáleností zmenšuje, a protože by se příliš zvětšil poměr postranního odpadu vůči výstřižkům a nástřihový plán by se tudíž stal méně ekonomickým. Ovšem v příliš malé vzdálenosti je zase vliv nátlačné hrany omezený a kvalita stříhu je horší. Správné nastavení hrany také ovlivňuje životnost nástrojů. Rozměry hrany a její umístění od střížných nástrojů se odvíjí od tloušťky plechu a jsou znázorněny na obr. 18 a v tab. 3 pro konstrukci s jednou, respektive dvěma nátlačnými hranami. Velikosti úhlů jsou závislé na tloušťce plechu. Obecně platí, že pro plechy o tloušťce do 4,5 mm jsou úhly $\alpha = 30^\circ$ a $\beta = 45^\circ$ a pro tloušťky nad 4,5 mm $\alpha = 45^\circ$ a $\beta = 45^\circ$.



Obr. 18 Nátlačná hrana [4]

Pro zjednodušení údržby při stříhání plechů o tloušťce do 4,5 mm se nátláčná hrana nachází na přidržovači, zatímco pro širší plechy je vyžadována také další hrana na střižnici. Důvodem je, že při zvětšující se tloušťce nedokáže hrana, která je umístěna pouze na přidržovači, vyvodit v celém průřezu materiálu dostatečné tlakové napětí a ztrácí svoji účinnost. V případě, že vnitřní stříhaný obrys je obzvláště velký, se hrana umísťuje také na vyhazovač.

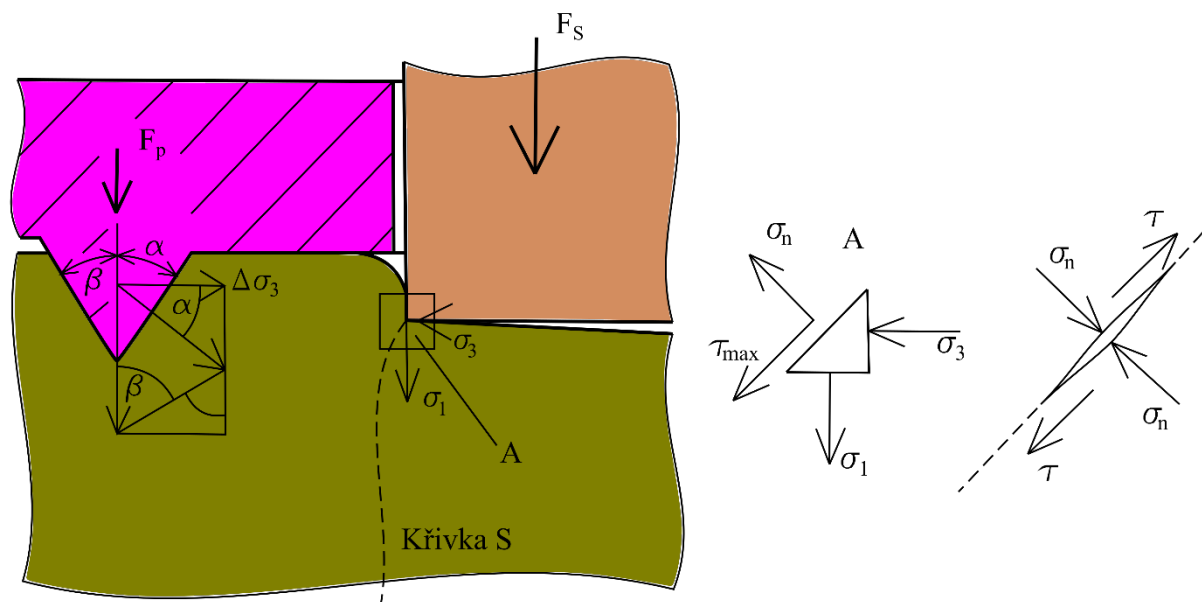
Tab. 3 Rozměry nátláčné hrany [4]

Tloušťka plechu [mm]	A [mm]	H _R [mm]	R [mm]
2,8 – 3,2	2,5	0,6	0,6
3,3 – 3,7	2,5	0,7	0,7
3,8 – 4,5	2,8	0,8	0,8

Tab. 4 Rozměry dvou nátláčných hran [4]

Tloušťka plechu [mm]	A [mm]	H _R [mm]	R [mm]	h _R [mm]	r [mm]
4,5 – 5,5	2,5	0,8	0,8	0,5	0,2
5,6 – 7,0	3,0	1,0	1,0	0,7	0,2
7,1 – 9,0	3,5	1,2	1,2	0,8	0,2
9,1 – 11	4,5	1,5	1,5	1,0	0,5
11,1 – 13	5,5	1,8	2,0	1,2	0,5
13,1 – 15	7,0	2,2	3,0	1,6	0,5

Vznik trhlin je při stříhání způsobený působením tahových napětí v oblasti přetvoření, proto je důležité v oblasti vyvolat větší tlakové napětí. Použitím nátláčné hrany, která vytváří přídavné tlakové napětí $\Delta\sigma_3$, se dosáhne výrazné změny v rovinné napjatosti při stříhu. Normálové napětí σ_n viditelné ve schématu napjatosti v obr. 19 díky přídavnému tlakovému napětí dosáhne záporných hodnot a oproti běžnému stříhání, ve kterém toto napětí vznikne trhlin ve směru největšího smykového napětí τ_{\max} napomáhá, se snaží vznikající trhliny uzavřít a výrazně tak zvyšuje schopnost materiálu se přetvářet. Tímto dochází k rozšíření oblasti plastického stříhu na celou šířku součásti a zajišťuje střižnou plochu bez trhlin.



Obr. 19 Schéma napjatosti [5]

2.6.5 Materiály [1], [4], [6], [15], [16], [19], [23]

Volba vhodného materiálu je zásadní pro získání kvalitních produktů. Materiály ovlivňují kvalitu střížné plochy, rozměrovou přesnost, životnost nástrojů a další. Pro nejlepší výsledek přesného stříhání by se měli používat materiály s vysokou tvárností za studena, co nejmenší mezí kluzu a také s vysokou chemickou čistotou, tj. malým obsahem legujících prvků nebo pozůstatků z předchozího hutního zpracování jako fosfor, síra dusík a podobně. Proto jsou nejvhodnějšími materiály nízkouhlíkové a nízkolegované oceli s pevností v tahu $R_m \leq 600$ MPa, neželezné kovy jako měď, mosazi a bronzy s podílem mědi nad 63 %, hliník a jeho slitiny do $R_m = 300$ MPa, beryllium a jeho slitiny se využívají také. Přehled vybraných materiálů dle ČSN a jejich vhodnost k přesnému stříhání je v tab. 4.

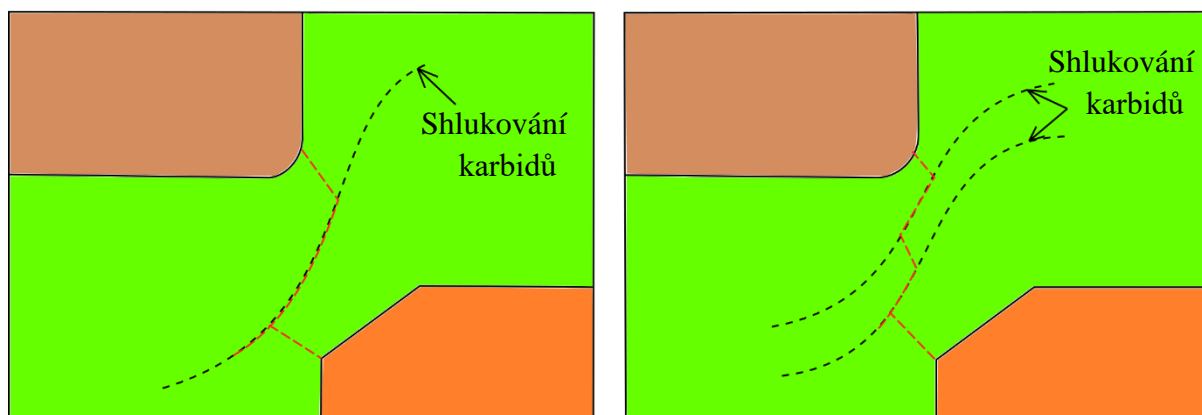
Tab. 5 Přehled vybraných materiálů dle ČSN pro přesné stříhání [1]

Označení materiálů	Vhodnost pro stříhání
ČSN 11 330, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425; ČSN 10 010, 12 014, 12 020, 12 023, 12 024; ČSN 42 4214 (mosaz)	Velmi dobrá
ČSN 11 500, 11 600, 11 700, 16 720	Dobrá
Ms 63; Ms 60	Špatná
Ms 58 (ČSN 42 3223)	Nevhodná
Ms 63 Pb (ČSN 42 3214)	Nehodí se
ČSN 12 040, 12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081, 12 088; 13 180; 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 221, 14 260; 15 124, 15 130; 16 220, 16 221, 16 231, 16 420; 17 040, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253; 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222;	Opotřebení nástroje

V přítomnosti je uhlíková ocel nejčastěji používaný materiál díky jejím vhodným mechanickým vlastnostem a nízké ceně. Z důvodu poměrně vysoké předepsané pevnosti pro většinu takto vyráběných produktů, ocel používaná pro přesné stříhání se vyvíjí z nízkouhlíkových ocelí k vysokopevnostním ocelím. Nicméně oceli s vysokou pevností jsou obvykle méně tvárné, což může vést ke špatnému provedení technologie a může výrazně negativně ovlivnit životnost nástroje. Tím pádem je při stříhu vysokopevnostních ocelí důležité zajistit maximalizaci střížné síly a zároveň minimalizovat vrchol kontaktního napětí na střížníku, aby došlo k prodloužení životnosti nástroje.

Při přesném stříhání je zásadní brát ohled na strukturu oceli, která je ovlivněna obsahem uhlíku, obsahem legujících prvků a tepelným zpracováním. S přibývajícím obsahem tvrdých legujících prvků vhodnost oceli klesá. Nežádoucí je také perlitická struktura s lamelárním perlitem, která při vystřihování součástek, které obsahují technologické elementy s malým zaoblením, způsobuje mikroskopické trhlinky na střížné ploše. Dosažení kompletní nodularity globulárního karbidu pomocí normalizačního žíhání je pro stříh výhodné, protože ocel se stává více tvárná díky tomu, že tvrdší části cementitu se během plastických deformací lehce vtlačí do měkčí feritické matrice. To umožňuje vystřihování složitých součástek i s malými zaobleními. Velký negativní vliv mají také metalurgické vady jako shlukování vměstků, trhliny a ostatní

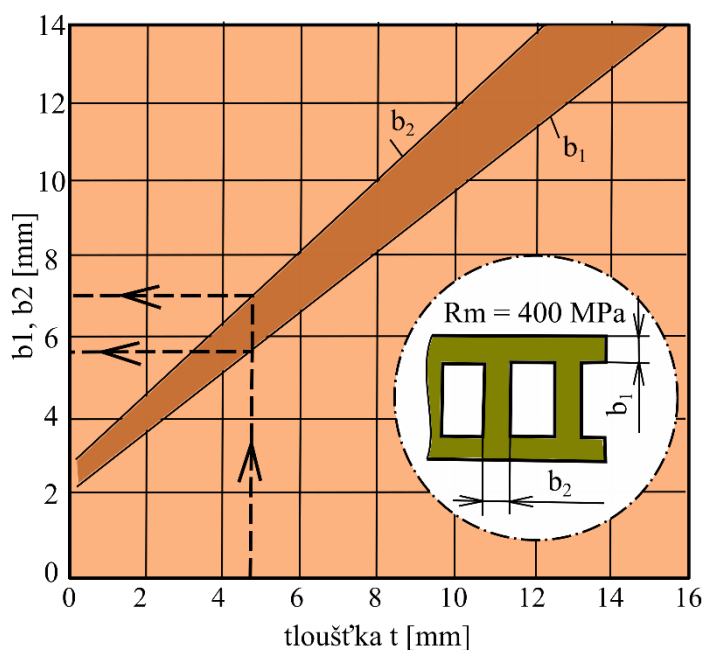
nedostatky. Shlukování karbidů na hranicích zrn v extrémních případech může i viditelně změnit dráhu střížné plochy, viditelné na obr. 20.



Obr. 20 Vliv shlukování karbidů na směr střížné plochy [16]

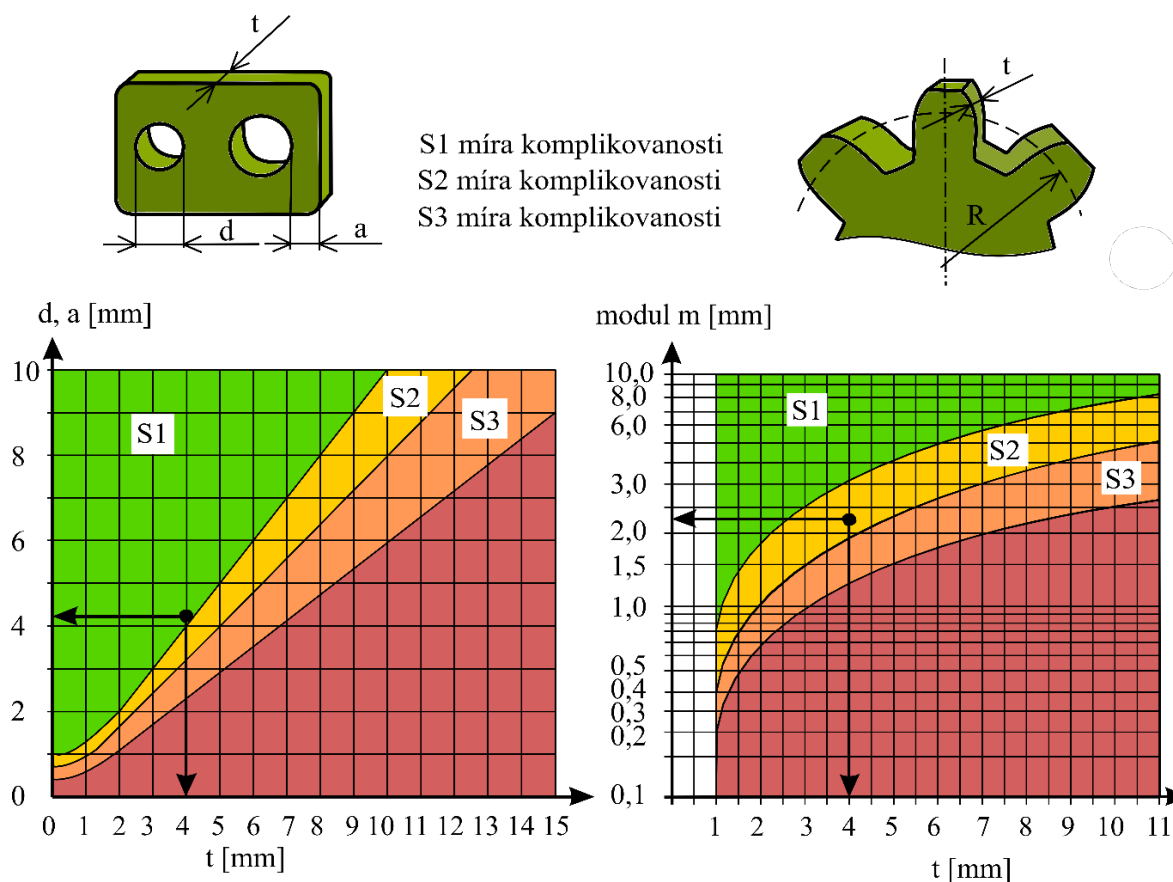
2.6.6 Technologické zásady [1], [4], [6], [9]

Technologie přesného stříhání s nátlacnou hranou bude oproti běžnému stříhání vždy méně hospodárná kvůli větší spotřebě materiálu. Pro zaručení správné funkce hrany je zapotřebí větší můstek mezi jednotlivými výstřižky, ale také větší vzdálenost výstřižku od okrajů plechu, protože na okrajích plechu je vyžadována dostatečná tuhost, aby nátlacná hrana fungovala správně. Pro tvrdé materiály je potřebná šířka můstku a postranního odpadu větší než pro materiály měkké, jelikož jinak není možné vyvodit dostatečné napětí. Optimální výběr můstku a postranního odpadu pro materiál o pevnosti $R_m = 400 \text{ MPa}$ je ilustrován na obr. 21.



Obr. 21 Velikost postranního odpadu a můstku [6]

Aby bylo možné zjistit, zda může být výstřižek zhotoven, musí se zvolit jeho stupeň obtížnosti, jež jsou ilustračně zobrazeny na obr. 22 pro případ součástek obsahujících otvory nebo ozubení. Všechny tvarové elementy jako jsou velikost díry, velikost ozubení, šířka drážky, úhly a radii rohů hrají roli na obtížnost a proveditelnost stříhu. Špatně zvolené geometrické prvky na výstřižku, především přítomnost ostrých rohů a ostrých hran, neovlivňují negativně pouze kvalitu střížných ploch, ale také snižují životnost nástrojů. Součástky by se tudíž měly navrhovat takovým způsobem, aby byly rohy a hrany zaoblené pod určitým poloměrem, jehož optimální velikost se volí na základě vrcholového úhlu mezi dvěma střížnými plochami, tloušťce plechu a pevnosti materiálu. Nejvyšší úroveň obtížnosti jednoho elementu součástky udává celkovou obtížnost výroby součástky. V případě, že se vyráběný produkt dostane pod křivku S3, nedá se zaručit dostatečná procesní spolehlivost pro běžnou technologii přesného stříhání.

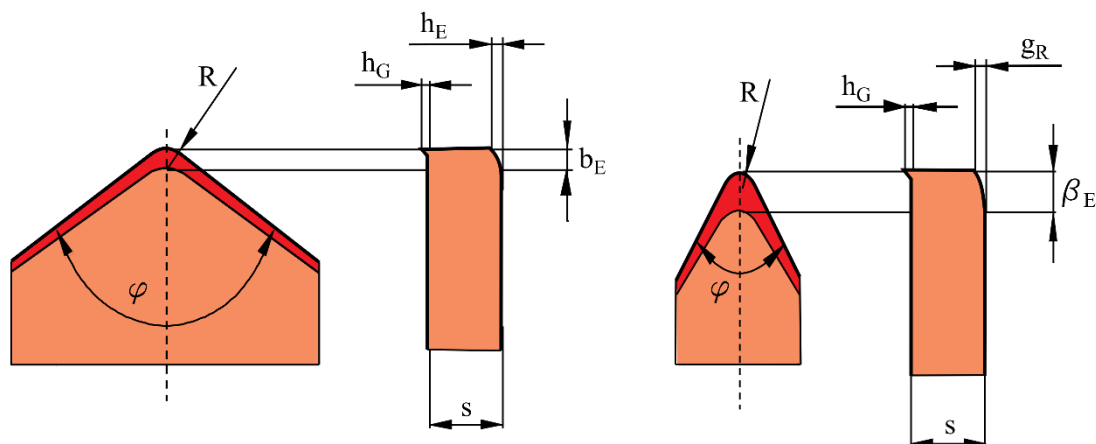


Obr. 22 Obtížnost výroby geometrických prvků [4]

2.6.7 Stažení, otřep a kvalita [4], [6], [16], [18]

Z důvodu elastických deformací na počátku střížného procesu vzniká na hranách střížných ploch charakteristické zaoblení, tzv stažení, které snižuje pracovní plochu výstřižku, pevnost a jeho životnost. Musí se kompenzovat zvolením tlustšího plechu, obzvláště při výrobě ozubení. Výška a šířka stažení závisí na velkém množství střížných, materiálových a geometrických faktorů. Úhel a rádius vnitřních a vnějších rohů, materiál, jeho mikrostruktura, pevnost a tloušťka, úprava hran střížných nástrojů a účinek nátlčné hrany jsou všechno nezanedbatelné parametry, které značně ovlivňují míru zaoblení. V závislosti na geometrii výstřižku může velikost zaoblení po jeho obrysu kolísat. Na obr. 23 je znázorněna velikost stažení hrany pro dva různé výstřižky, na nichž se nachází rohová oblast, ve které jsou od sebe dvě střížné plochy odkloněny pod určitým úhlem. Lze vidět, že stažení se zvětšuje se zmenšujícím se úhlem φ . Pokud to je možné je vhodné se při konstrukci stříhaných součástí ostrým úhlem rohů vyvarovat. Stažení hrany se zvětšuje, čím měkčí je materiál, u pevných materiálů je naopak menší.

Střížná plocha bez otřepu není prakticky proveditelná. Otřep se nachází na opačné straně jako stažení a vzniká z důvodu zaoblení na střížnici a tolerancí mezi ní a střížníkem. Z důsledku opotřebení pracovních částí nástroje se výška a šířka otřepu zvětšuje se zvyšujícím se počtem střížných operací.



Obr. 23 Stažení a otřep na střížné ploše [4]

Běžně se rozměrová přesnost pohybuje v rozmezí IT 6 až IT 9. Jaké přesnosti se dosáhne se odvíjí od tloušťky plechu, pevnosti materiálu a toho, jestli se vystřihují vnější nebo vnitřní tvary. Specifické hodnoty rozměrových tolerancí jsou v tab. 5. Dosažitelné drsnosti střížné plochy se pohybují v rozmezí $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$. Správná volba postranního odpadu, můstků a velikosti protisíly hraje na drsnost zásadní roli a se špatnou optimalizací těchto parametrů se rychle zhoršuje. Při stříhání tlustších plechů se dá pozorovat proměnlivá drsnost na střížné ploše, kde je menší na straně stažení hrany a směrem k otřepu se zvětšuje. Oproti běžnému stříhání se dosahuje i velmi dobrých geometrických tolerancí. Úkos střížné plochy vůči kolmosti na povrch výstřížku se pro materiály do tloušťky 4 mm rovná $0,01 \text{ mm}$ a u tlouštěk nad 4 mm, za předpokladu, že je nátláčná hrana umístěna i na střížnici, se dosahuje téměř totožné kolmosti.

Tab. 5 Dosažitelné rozměrové tolerance při přesném stříhání s nátláčnou hranou [4]

Tloušťka materiálu [mm]	Mez pevnosti do $R_m = 500 \text{ MPa}$			Mez pevnosti od $R_m = 500 \text{ MPa}$		
	Vnitřní tvar podle ISO	Vnější tvar podle ISO	Tolerance roztečí [mm]	Vnitřní tvar podle ISO	Vnější tvar podle ISO	Tolerance roztečí [mm]
0,5 – 1	6 – 7	7	$\pm 0,01$	7	8	$\pm 0,01$
1 – 2	7	7	$\pm 0,015$	7 – 8	8	$\pm 0,015$
2 – 3	7	7	$\pm 0,02$	8	8	$\pm 0,02$
3 – 4	7	8	$\pm 0,02$	8	9	$\pm 0,03$
4 – 5	7 – 8	8	$\pm 0,03$	8	9	$\pm 0,03$
5 – 6	8	9	$\pm 0,03$	8 – 9	9	$\pm 0,03$
> 6	8 – 9	9	$\pm 0,03$	9	9	$\pm 0,03$

3 MODERNIZACE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ [11], [12], [13], [14], [16], [18]

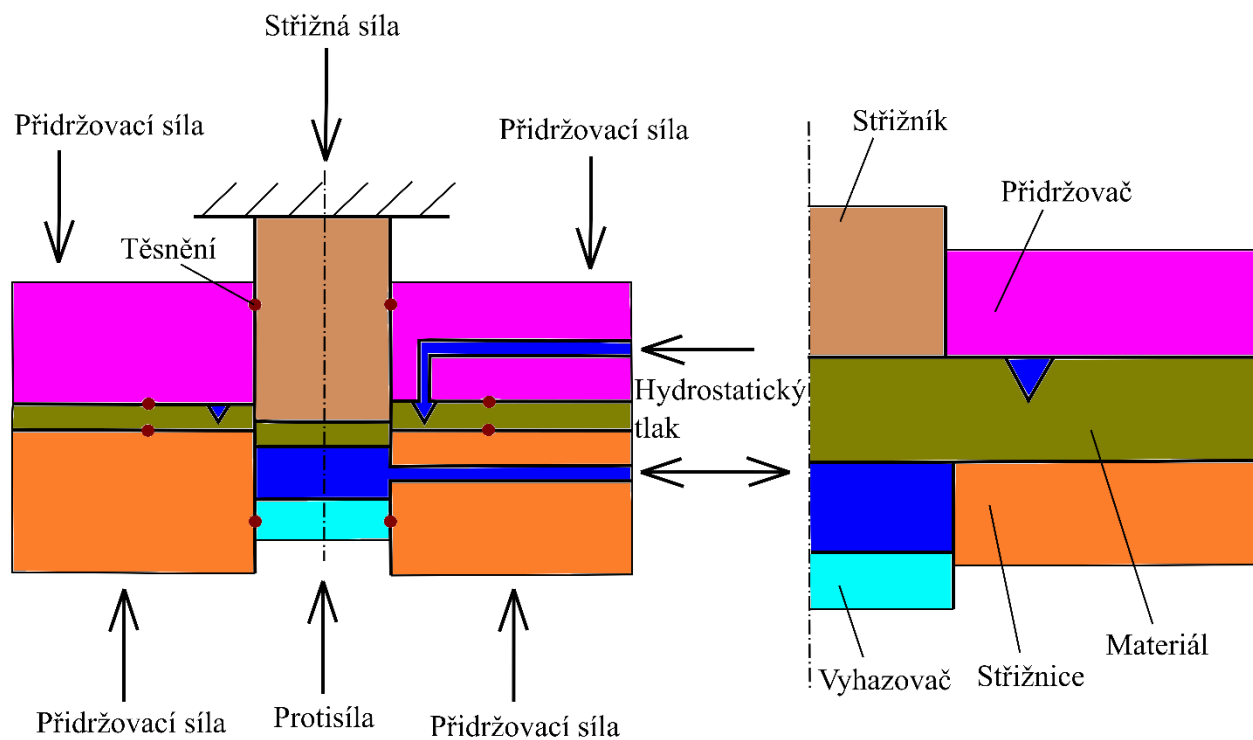
Z důvodu velmi širokého použití metody s nátlacnou hranou se v dnešní době klade velký důraz na její modernizaci. I přes své výhody, co se kvality a produktivity týče, má stále své nedostatky a limitace, které výrazně zbrzdily její vývoj. Mezi tyto nedostatky patří:

- Složitost výroby a údržby – pro velmi velké výstřižky a ve výrobě o velkých sériích se hrana velmi rychle opotřebovává a poškozuje.
- Malá vtláčitelnost hrany do materiálu – je těžké hranu vtlačit hluboko do materiálu u tlustších plechů, a proto ztrácí s přibývajícím tloušťkou svoji efektivitu. Obecně se touto metodou dají správně vystříhnout jen tenké plechy do 5 mm.
- Tvar hrany – obvykle je hrana kruhového tvaru, což má za následek to, že komplexní tvary s rozdílnou vzdáleností obrysu stříhu od hrany jako ozubení, jsou velice těžko vyrobitelné.
- Nižší životnost nástrojů – je způsobená malou střížnou vůlí.
- Výrazné stažení hrany – je zásadní indikátor při hodnocení kvality produktu, obzvláště při výrobě ozubení, protože velké stažení hrany zmenšuje jeho funkční plochu.

V posledních letech se začal klást výrazný důraz na zdokonalení přesného stříhání a odstranění jeho nedostatků pomocí experimentů úpravy konstrukce střížných nástrojů.

3.1 Hydromechanické přesné stříhání [10], [12], [13], [16]

Princip hydromechanického přesného stříhání spočívá v nahrazení nátlacné hrany na přidržovací dutinou ve stříhaném materiálu, do které je přiváděna kapalina. Jak lze vidět na obr. 24, konstrukce obsahuje průtokový kanál pro tekutinu, obvykle olej, který vede do dutiny. Během střížného procesu je v dutině vyvozen hydrostatický tlak, který zvětšuje tlakové napětí v oblasti stříhu, tím pádem není kvalita stříhu negativně ovlivněna. Je nutné brát v potaz vysoké riziko úniku oleje pod vysokým tlakem. Z toho důvodu musí být všechny možné cesty úniku zabezpečeny těsnícím systémem.



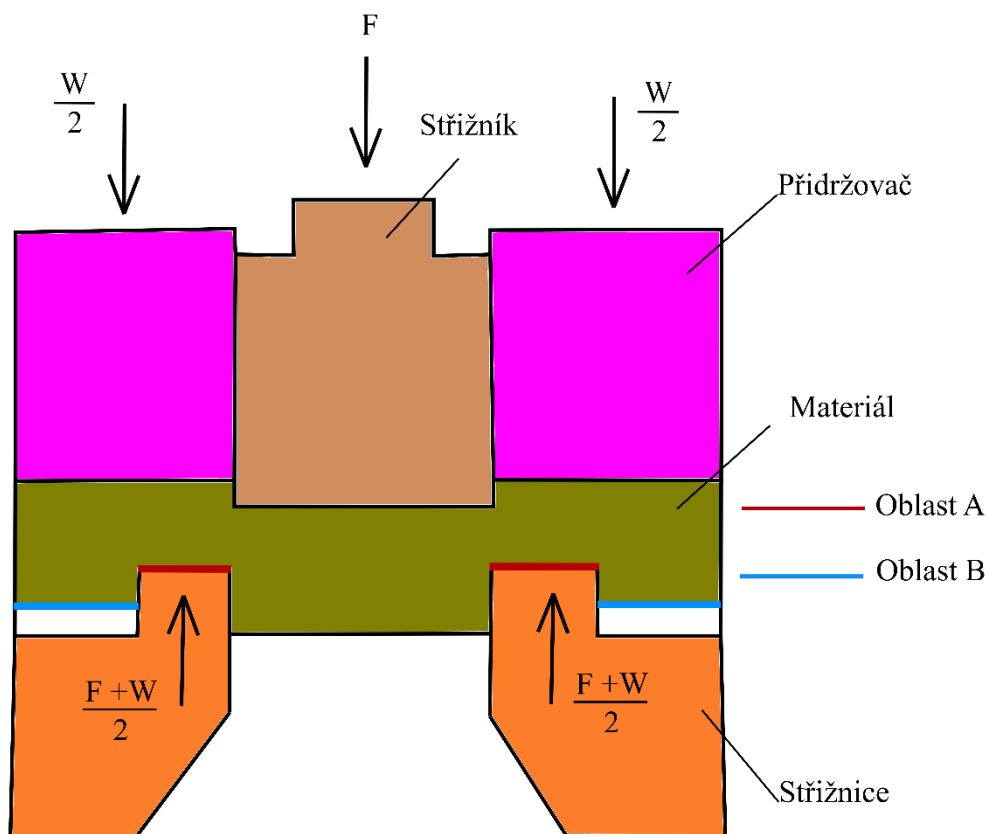
Obr. 24 Hydromechanické přesné stříhání [10]

Je důležité podotknout, že dutina nemusí být nutně provedena ve tvaru ‘V,’ ale může být provedena například ve tvaru ‘U’ nebo jako polokruh. Z dosud provedených experimentů na toto téma se ale zdá, že dutina ve tvaru ‘U’ dosahuje nejlepších střížných výsledků. Metoda eliminuje problém s malou vtláčitelností hrany, neboť hydrostatický tlak bude působit rovnoměrně nezávisle na hloubce dutiny. Lze tak efektivně vyvodit napjatost v materiálu i při větších tloušťkách výstřižků. Další výhodou je, že obrys, po kterém dutina plyne, může mít libovolný tvar, takže může mnohem přesněji opisovat tvar střížníku, což zaručí schopnost efektivní produkce výstřižků o komplexních tvarech. Ovšem výrazným nedostatkem je potřeba frézování dutiny do plechu, což prodlužuje čas výroby a její náklady.

Hydromechanickým přesným stříháním lze dosáhnout rozměrových tolerancí mezi IT 5 až IT 7 a drsností střížné plochy $Ra = 0,098$ až $0,5 \mu m$.

3.2 Wangovo přesné stříhání [14], [16]

Metoda eliminuje použití nátláčné hrany a místo ní je střížnice u střížné hrany vyvýšená a v určité vzdálenosti snížena, což vytváří na střížnici dutinu. Wangova metoda má specifické působení střížných sil, které jsou zobrazené na obr. 25. Protože plocha stříhaného materiálu ‘B’ se během celého stříhu nedotýká dna koryta, celá reakční síla vznikající působením sil od přidržovače a střížníku je koncentrována na vyvýšenou plochu střížnice ‘A,’ což v oblasti přetvoření v blízkosti střížných hran vytvoří vysoké tlakové napětí, které zamezuje vzniku trhlin v oblasti stříhu. Pro další zlepšení tlakových parametrů se při stříhu může na spodní stranu výstřižku působit hydraulickým nebo pneumatickým tlakem. Dutina obklopující otvor ve střížnici nemusí být připravována pouze jako kruh, jako v případě nátláčné hrany, ale může být upravena do jakéhokoli tvaru. Absence nátláčné hrany taktéž eliminuje problém malé vtláčitelnosti hrany. Je proto možné tímto způsobem vystříhovat tvarově komplexní produkty o větších tloušťkách jako ozubená kola.



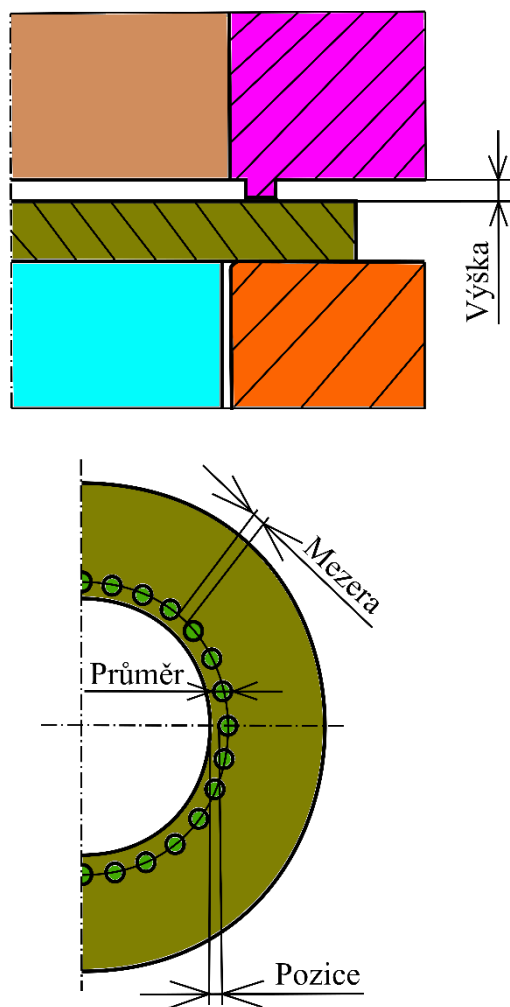
Obr. 25 Wangovo přesné stříhání [14]

Při experimentálním výzkumu této metody, ve kterém se stříhal materiál Al 1050 (ČSN 42 4005), byly vystřiženy komponenty o tloušťce až 25 mm bez trhlin pouze v jedné operaci a bylo dosaženo rozměrových tolerancí IT 2 až IT 4 a drsnosti povrchu $R_a = 0,03$ až $0,08 \mu\text{m}$, což představuje oproti běžnému stříhání s nátláčnou hranou výrazné zlepšení.

3.3 Přesné stříhání s nespojitým bodovým vtlaččením [11], [16]

Kvůli své složité výrobě, údržbě a vysoké ceně přišla snaha hranu nahradit výrobně jednodušší a levnější alternativou bez poklesu kvality výrobků a metoda s nespojitým bodovým vtlaččením na obr. 26 byla navržena jako řešení. Bodové výstupky mají totožnou funkci jako nátláčná hrana, a to v oblasti stříhu vyvolat trojosý stav napjatosti. Vysoká cena je způsobena tím, že hrana musí být velice přesně vyrobena, tudíž je pro výrobu potřeba použít vysoce přesných CNC frézovacích strojů.

Na druhou stranu bodové výstupky na přidržovači se vyrábějí pomocí elektroerozivního obrábění. Obráběcí nástroj je velice lehce vyrobitelný, jelikož do něj stačí vyvrtat sérii dír, které mají totožné rozmístění, jako budou mít výstupky na přidržovači, což výrazně snižuje výrobní náklady a tím pádem i cenu výsledného nástroje, jehož trvanlivost je více méně totožná nátláčné hraně. Velkou výhodou je také možnost upořádání výstupků do libovolného tvaru, což zaručuje jejich efektivitu i při stříhání geometricky složitých součástek. Z experimentů prozatím provedených na toto téma lze vyvodit závěr, že při správné optimalizaci výšky a průměru výstupků lze dosáhnout i lepších střížných výsledků než při stříhání s nátláčnou hranou.



Obr. 26 Přesné stříhání s nespojitým bodovým vtlaččením [11]

ZÁVĚRY

Běžné stříhání má velkou řadu nedostatků, jimiž jsou velká oblast lomu, malá rozměrová přesnost, vysoká drsnost střížné plochy, velké geometrické tolerance a velká plastická deformace výstřižku, zpevnění na střížné ploše, jejichž důsledkem je aplikace technologie značně omezená a nevhodná pro výrobu komponentů, u kterých je vysoký nárok na jejich kvalitu. Metody přesného stříhání byly vytvořeny s cílem minimalizace nebo odstranění těchto nevýhod, především oblasti lomu.

Každá z metod má své parametry, které je nutné dodržet pro jejich správnou funkci. V případě vystřihování se zaoblenými střížnými hranami lze dosáhnout malé drsnosti na střížné ploše, ale vyšších rozměrových tolerancí. Dále je pro správnou funkci metody důležité používat materiály s vysokou tvárností, což je vhodné též pro metodu kalibrování, kterou se dosahuje běžných kvalitativních hodnot přesného stříhání. Její nevýhodou je ovšem vznik odpružení jmenovitěho rozměru způsobeného elastickou deformací a výrazné zpevnění na střížné ploše. Zpevnění se dá úplně eliminovat použitím metody přistřihování. Lze jí dosáhnout velmi vysokých geometrických přesností i u výstřižků o velké tloušťce a je jí vhodné stříhat tvrdší, méně tvárné materiály. Není vhodná pro velkosériovou výrobu. Dále metodou reverzního stříhání je možné produkovat součásti bez ořepu, nýbrž se stažením hrany na obou stranách střížné plochy. Zmíněné metody je vhodné použít převážně pro malosériovou výrobu.

Přesné stříhání s nátláčnou hranou je ze všech metod nejpoužívanější a také pro ni vnika nejvíce výzkumu, proto bylo toto téma více dopodrobna zpracované. Dosahuje velmi vysokých rozměrových a geometrických přesností a nízkých drsností povrchu. Mimo to se také vyznačuje svojí vysokou produktivitou, a hodí se proto pro velkosériovou výrobu. Přestože ukazuje výrazné zlepšení oproti ostatním metodám přesného stříhání, stále má své nedostatky, které vznikají při vystřihování součástek z materiálu buďto o velmi velké tloušťce nebo velmi velké pevnosti, kdy se na střížných plochách může opět začít vyskytovat oblast lomu. Výzkum ohledně optimalizace nebo úpravy konstrukce za účelem zdokonalení metody se proto v posledních letech stal prioritou.

Mezi případy modernizace přesného stříhání s nátláčnou hranou patří poměrně nové metody, jež jsou hydromechanické přesné stříhání, Wangovo přesné stříhání a přesné stříhání s nespojitým bodovým vtlačněním, které výrazně zlepšují kvalitu stříhu v případě prvních dvou zmíněných, nebo ekonomičnost metody v případě přesného stříhání s nespojitým bodovým vtlačněním.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [24]

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
2. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 80-214-2683-7.
3. BOHDAL, Łukasz, Leon KUKIELKA, Krzysztof KUKIELKA, Agnieszka KUŁAKOWSKA, Leszek MALAG a Radosław PATYK. Three Dimensional Finite Element Simulation of Sheet Metal Blanking Process. *Applied Mechanics and Materials* [online]. Trans Tech Publications, 2014, 474(Novel Trends in Production Devices and Systems), 430-435 [cit. 2021-5-15]. ISBN 9783037859445. ISSN 1660-9336. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.474.430
4. SCHULER GMBH. *Metal forming handbook*. 1. Berlin: Springer, 1998, xx, 563 s. : il., bar. fot. ISBN 3-540-61185-1.
5. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
6. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. : il.
7. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I. Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992, 171 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-214-0404-3.
8. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikorozní ochrana materiálu*. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-7183-054-2.
9. ELYASI, Majid a Vahid DAEIZADEH. *Effect of shape of workpiece on forming force in fine blanking process. Materials research innovations* [online]. Taylor & Francis, 2011, 15(1), s386-s389 [cit. 2021-5-13]. ISSN 1432-8917. Dostupné z: doi:10.1179/143307511X12858957675075
10. WANG, Jang-ping, Guo-ming HUANG, Hsien-der LEE, Chih-chun CHEN, Te-tsun CHEN a Chia-ling CHEN. Optimization of Fine Hydro-Blanking. *Steel research international* [online]. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2013, 84(8), 777-783 [cit. 2021-5-13]. ISSN 1611-3683. Dostupné z: doi:10.1002/srin.201200255
11. MAO, Huajie, Fei ZHOU, Yanxiong LIU a Lin HUA. Numerical and experimental investigation of the discontinuous dot indenter in the fine-blanking process. *Journal of manufacturing processes* [online]. Elsevier, 2016, 24(P1), 90-99 [cit. 2021-5-13]. ISSN 1526-6125. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmapro.2016.08.001
12. WANG, Jang-ping, Guo-ming HUANG, Chih-chun CHEN, Yi-ching YE a Te-tsun CHEN. Investigation of the shear-zone length in fine hydromechanical blanking. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer London, 2013, 68(9-12), 2761-2769 [cit. 2021-5-13]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-013-4879-z
13. HUANG, Guo-ming, Jang-ping WANG, Te-tsun CHEN, Chia-ling CHEN a Ming-hong XU. Optimal design for the fluid cavity shape in hydromechanical fine blanking. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer London, 2015, 78(1-4), 153-160 [cit. 2021-5-13]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-014-6591-z

14. WANG, Jang-ping. A novel fine-blanking approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer London, 2015, 78(5), 1015-1019 [cit. 2021-5-13]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-014-6701-y
15. ZHUANG, Xincun, Siming MA a Zhen ZHAO. A microstructure-based macro-micro multi-scale fine-blanking simulation of ferrite-cementite steels. *International journal of mechanical sciences* [online]. Elsevier, 2017, 128-129, 414-427 [cit. 2021-5-13]. ISSN 0020-7403. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijmecsci.2017.05.018
16. ZHENG, Qide, Xincun ZHUANG a Zhen ZHAO. State-of-the-art and future challenge in fine-blanking technology. *Production Engineering* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019, 13(1), 61-70 [cit. 2021-5-13]. ISSN 0944-6524. Dostupné z: doi:10.1007/s11740-018-0839-7
17. SPIŠÁK, Emil, Janka MAJERNÍKOVÁ a Emília SPIŠÁKOVÁ. The Influence of Punch-Die Clearance on Blanked Edge Quality in Fine Blanking of Automotive Sheets. *Materials Science Forum* [online]. Trans Tech Publications, 2015, 818, 264-267 [cit. 2021-5-13]. ISBN 9783038354697. ISSN 0255-5476. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.818.264
18. LUO, Cheng, Zhichao CHEN, Kui ZHOU, Xinran YANG a Xianglin ZHANG. A novel method to significantly decrease the die roll during fine-blanking process with verification by simulation and experiments. *Journal of materials processing technology* [online]. Elsevier B.V, 2017, 250, 254-260 [cit. 2021-5-13]. ISSN 0924-0136. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmatprotec.2017.07.024
19. GRAM, Michael D. a Robert H. WAGONER. Fineblanking of high strength steels: Control of material properties for tool life. *Journal of materials processing technology* [online]. Elsevier B.V, 2011, 211(4), 717-728 [cit. 2021-5-13]. ISSN 0924-0136. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.12.005
20. KLOCKE, Fritz, Anton SHIROBOKOV, Daniel TRAUTH a Patrick MATTFELD. Deep rolling of fine blanking punch edges. *International Journal of Material Forming* [online]. Paris: Springer Paris, 2016, 9(4), 489-498 [cit. 2021-5-13]. ISSN 1960-6206. Dostupné z: doi:10.1007/s12289-015-1235-x
21. Stamping & Fineblanking. *AmTech International* [online]. Freehold: AmTech International, ©1995-2021 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.amtechinternational.com/metal-stamping-fineblanking/>
22. ALBERT, Mark. Fineblanking Picks Up Speed. *Modern Machine Shop* [online]. Cincinnati: Gardner Business Media, 2015, 88(5), 34-36 [cit. 2021-5-13]. ISSN 00268003. Dostupné z: <https://www.proquest.com/docview/1718586213?pq-origsite=primo>
23. DING, Ri-xian, Wei WANG, Fu-jing TANG, Yan-nian ZHOU, Jun-hang GUO, Jun-hong DUAN a Lei-lei YAN. The effect of crack propagation on the quality of fineblanking surface of cold-rolled steel sheet detected by PVDF film stress sensors. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer London, 2018, 99(5-8), 1615-1625 [cit. 2021-5-15]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-018-2564-y
24. *Citace* [online]. 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Přesné stříhání [20], [21]	9
Obr. 2 Průběh stříhu [5]	10
Obr. 3 Střížná síla [5]	11
Obr. 4 Schéma napjatosti při běžném stříhání [7]	12
Obr. 5 Schéma stříhu s malou a velkou střížnou mezerou [5]	12
Obr. 6 Schéma střížné plochy s normální střížnou mezerou [6]	12
Obr. 7 Nevhodný a více vhodný nástřihový plán [4]	13
Obr. 8 Vystřihování se zaoblenými střížnými hranami [1]	14
Obr. 9 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem [7]	15
Obr. 10 Kalibrovaní [7]	15
Obr. 11 Přistřihování [1]	16
Obr. 12 Reversní stříhadlo [9]	17
Obr. 13 Přesné stříhání s nátlacnou hranou [11]	18
Obr. 14 Střížný průběh [16]	19
Obr. 15 Průběh síly [4]	20
Obr. 16 Zpevnění střížné plochy [4]	20
Obr. 17 Střížná vůle [4]	21
Obr. 18 Nátlacná hrana [4]	21
Obr. 19 Schéma napjatosti [5]	22
Obr. 20 Vliv shlukování karbidů na směr střížné plochy [16]	24
Obr. 21 Velikost postranního odpadu a můstku [6]	24
Obr. 22 Obtížnost výroby geometrických prvků [4]	25
Obr. 23 Stažení a otřep na střížné ploše [4]	26
Obr. 24 Hydromechanické přesné stříhání [10]	27
Obr. 25 Wangovo přesné stříhání [14]	28
Obr. 26 Přesné stříhání s nespojitým bodovým vtlačněním [11]	29

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Velikost střížné vůle [6]	13
Tab. 2 Přídavky na přistřihování [8]	17
Tab. 3 Rozměry nátlčné hrany [4]	22
Tab. 4 Rozměry dvou nátlčných hran [4]	22
Tab. 5 Přehled vybraných materiálů dle ČSN pro přesné stříhání [1]	23
Tab. 6 Dosažitelné rozměrové tolerance při přesném stříhání s nátlčnou hranou [4]	26